

VŠB-Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra energetiky

Návrh a výpočet odplyňovače napájecí vody

Design and Calculation of Deaerator Feedwater

Student:
Vedoucí diplomové práce:

Bc.Pavel Vavříčka
doc. Ing. Zdeněk Kadlec, Ph.D.

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 19.5.2014

.....
podpis studenta

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra energetiky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Pavel Vavříčka**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2302T006 Energetické stroje a zařízení
Téma: **Návrh a výpočet odplyňovače napájecí vody**
Design and Calculation of Deaerator Feedwater

Zásady pro vypracování:

1. Popište úpravu napájecí vody v Biocelu Paskov
2. Navrhněte nový odplyňovač pro úpravu NV
3. Proveďte tepelný výpočet
4. Navrhněte teplosměnné plochy
5. Proveďte pevnostní výpočet
6. Proveďte dispoziční řešení

Seznam doporučené odborné literatury:

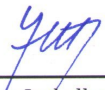
- [1] BLAHOŽ, Vladimír a Zdeněk KADLEC. Základy sdílení tepla. 1. vyd. Ostrava: SPBI, 1996, 109 s. ISBN 80-902-0011-7.
- [2] DLOUHÝ, Tomáš. Výpočty kotlů a spalinových výměníků. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002, 212 s. ISBN 80-010-2591-8.
- [3] KADRNOŽKA, Ladislav a Ladislav OCHRANA. Teplárenství. Brno: CERM, 2001, 178 s. ISBN 80-720-4222-X.
- [4] KADLEC, Zdeněk. Průvodce sdílením tepla pro požární specialisty. 1. vyd. V Ostravě: SPBI, 2009, 100 s. Spektrum. ISBN 978-80-7385-061-6.
- [5] PŘÍHODA, Miroslav; Miroslav ŘÉDR. Sdílení tepla a proudění. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 1998, 177 s. ISBN 80-707-8549-7.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Zdeněk Kadlec, Ph.D.**


Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014



prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.
vedoucí katedry





doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 –školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně ke své vlastní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB – TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu užití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č.111/1998 SB., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

.....
podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Bc.Pavel Vavříčka

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Frýdek - Místek

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

VAVŘIČKA P.: Návrh a výpočet odplyňovače napájecí vody: Diplomová práce, Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2014, 74 s. Vedoucí práce: Zdeněk Kadlec

Diplomová práce se zabývá návrhem odplyňovače napájecí vody. V úvodní části jsou popsány technologické postupy při úpravě napájecí vody a důvody pro které jsou prováděny. Podrobně je popsána funkce odplyňovače v tomto procesu a popsáno jeho konstrukční uspořádání. Metodou fyzikální podobnosti navrhuje rozměry výkonnějšího aparátu, který by nahradil současné řešení. Zobrazuje jeho prostorové řešení. V závěrečné části je proveden jeho pevnostní výpočet.

ANNOTATION THE THESIS

VAVŘIČKA P.: Design and calculation of deaerator feedwater: thesis, Ostrava: VSB-Technical University of Ostrava, Faculty of Engineering, Department of Energy, 2014, 74 p. Supervisor: Zdeněk Kadlec

This thesis describes the design deaerator feedwater. In the introductory section describes the technological processes for the treatment of feedwater and the reasons for which they are implemented. Is described in detail in this function deaerator process and described his concept. Methods of physical dimensions of similarity suggests a more powerful system, which would replace the current solution. Displays the spatial resolution. In the final part of the implementation of its strength calculation.

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů	7
Úvod.....	10
1. Technologie výroby v Biocelu Paskov.....	10
2. Voda v energetice.....	11
2.1 Nežádoucí příměsi napájecí vody.....	12
2.2 Metody úprav napájecí vody.....	13
3. Odplynění.....	18
3.1 Složení rozpuštěných plynů.....	18
3.2 Metody odplynění.....	19
3.3 Zařízení pro termické odplynění.....	20
3.4 Měření obsahu rozpuštěného kyslíku.....	24
4. Návrh nového odplyňovače.....	25
4.1 Výpočet teplosměnných ploch.....	25
4.1.1 Přenos tepla v odplyňovači.....	25
4.1.2 Metoda výpočtu.....	26
4.1.3 Metoda přímého výpočtu.....	26
4.1.4 Metoda přirozeného modelu.....	29
4.2 Určení rozměrů a parametrů odplyňovače C003.....	31
4.2.1 Určení maximálního výkonu odplyňovače.....	31
4.2.2 Určení dalších rozměrů a parametrů odplyňovače C003.....	32
4.2.3 Energetická bilance a tepelný výkon odplyňovače.....	35
4.2.4 Výpočet parametrů rozprašovací hlavy.....	36
5. Návrh prostorového řešení.....	40
6. Pevnostní výpočet.....	40
6.1 Volba materiálu.....	40
6.2 Určení hodnoty dovoleného namáhání.....	41
6.3 Určení výpočtového tlaku.....	41
6.4 Výpočet zkušebního tlaku.....	42
6.5 Určení přídavek k materiálu.....	43
6.6 Postup pro výpočet pevnosti	44
6.6.1 Válcová skořepina.....	44
6.6.2 Torosferické dno.....	44
6.6.3 Výpočet osamoceného otvoru vyztuženého vsazeným hrdlem.....	47
6.7 Výpočet.....	50
6.7.1 Válcová skořepina.....	50
6.7.2 Torosferické dno.....	51
6.7.3 Přepadové hrdlo.....	54
6.7.4 Válcová skořepina.....	57
6.7.5 Horního dno.....	58
6.7.6 Parní hrdlo.....	61
6.7.7 Revizní průlez.....	64
6.7.8 Hrdlo revizního průlezu.....	65
6.7.9 Rozprašovací hlava.....	67
6.7.10 Sprcha.....	69
7. Závěr.....	73
8. Seznam použité literatury.....	74
9. Seznam příloh.....	74

Seznam použitých zkratk a symbolů

A	tažnost
A_f	nosná plocha příčného průřezu účinná pro vystužení
A_p	plocha zatížená tlakem
c	koncentrace
Ca	vápník
Cu	měď
D	průměr
e	tloušťka materiálu
f	dovolené namáhání
Fe	železo
i	entalpie napájecí vody
i_{DV}	entalpie demivody
i_p	entalpie syté páry
K	draslík
k	Henryho konstanta přiteplotě
l	charakteristický rozměr
\dot{m}	hmotnostní průtok výstupní napájecí vody
\dot{m}_{DV}	hmotnostní průtok vstupní demivody
\dot{m}_p	hmotnostní průtok vstupní páry
Mg	hořčík

N_2	dusík
N_2H_4	hydrazin
Na	sodík
n_t	počet trysek
Nu	Nusseltovo kritérium
O_2	kyslík
p	tlak
P	tepelný výkon
pH	vodíkový exponent
Pr	Prandtlovo kritérium
r	poloměr
R	univerzální plynová konstanta
Re	Reynoldsovo kritérium
R_e	mez kluzu
R_m	mez pevnosti
S	plocha
SiO_2	oxid křemičitý
T	teplota vody
T_{DV}	teplota demivody
t_w	teplota stěny
w	charakteristická rychlost proudění kapaliny

α	součinitel přestupu tepla
Δh	výparné teplo
η	dynamická viskozita
λ	tepelná vodivost
μ	výtokový součinitel
ρ	hustota

Úvod

Tato práce si klade za cíl vytvořit návrh nového odplyňovače napájecí vody pro provoz energetiky závodu na výroby buničiny Biocelu Paskov, a.s.

Ukazuje požadavky na kvalitu napájecí vody z pohledu ČSN 07 7403 a metody jak jí technologickými postupy dosáhnout. Předkládá důvody pro návrh nového odplyňovače a popisuje jeho funkci.

Provádí tepelný výpočet a určuje metodu pro návrh.

Vytváří prostorové uspořádání navrhovaného odplyňovače a na jeho základě provádí pevnostní výpočet.

1. Technologie výroby v Biocelu Paskov

Výroba buničiny v Paskově je založena na sulfítovém zpracování dřevní hmoty. Dřevní štěrka je za zvýšených teplot rozkládána kyselou hydrolýzou, z celulózy se do výluhů uvolňují ligniny. Celulóza je po ukončení várky oddělena (síty, praním) od výluhů a pokračuje její další zpracování. Z hlediska energetiky je zajímavé dále sledovat zpracování odpadních výluhů.

Výluh je směs organických látek a anorganických sloučenin (hlavně síry a hořčíku), který se po zahuštění v odparce spaluje v regeneračním kotli.

Spaliny jsou nejdříve v elektrofiltrech zbaveny pevných částic, mezi nimiž hlavní složkou je oxid hořečnatý. V navazující sekundární regeneraci následuje jejich vyčištění od oxidu siřičitého, což je zařízení technologicky založené na mokré absorpční metodě s využitím hydrátu (v elektrofiltrech zachyceného) oxidu hořečnatého. Vyčištěné spaliny vstupují do komína a zachycené oxidy síry se regenerují na tzv. věžovou kyselinu (magneziumbisulfit), která je znova využita pro hydrolýzu dřeva.

V posledních letech došlo k ve výrobě buničiny v Paskově k podstatným změnám, které mají dopad na provoz energetiky.

Hlavní změnou je změna finálního produktu, kdy nově funguje výroba viskózné buničiny namísto tradiční papírenské. Tímto m.j. došlo k podstatnému zvýšení produkce výluhů, které je nutno zpracovat.

K posílení technologie byl postaven druhý regenerační kotel a pro zpracování v rámci druhého okruhu výluhů s vysokým obsahem sodíku i sodný kotel.

Celkově tyto změny přinesly významný přírůstek parní bilance. Před přestavbou byla doplňována uhelným kotlem, v současnosti je i přes zvýšený tepelný příkon závodu tepla přebytek. Ten je vyřešen instalací nové dvoudílné turbíny s regulovanou kondenzační částí, která s původními dvěma protitlakými turbínami pokrývá celou elektrickou bilanci závodu.

Všechny změny, jimiž závod v poslední době prošel se projeví i do nároků na vyšší množství napájecí vody pro energetiku.

2. Voda v energetice

Voda je s jednou ze základních surovin energetiky, kdy zde má funkci chladicího a pracovního média.

V Clausius - Rankinově oběhu je do ní v systému parního kotle transformována chemická energie paliva. Vstupuje do něj v kapalně fázi a postupně, nejdříve v ekonomizéru a následně ve výparníku, se zahřívá na teplotu varu. Z parovodní směsi se v prostoru bubnu oddělí sytá pára. Ta vstupuje do přehříváku, kde je ohřáta na požadovanou výstupní teplotu. Za kotlem tato přehřátá pára vstupuje do turbíny. Zde se při expanzi přemění část vnitřní energie na krouticí moment hřídele turbíny a ten je využit k pohonu energetických strojů (elektrické generátory, čerpadla, kompresory). Po ukončení expanze pára vstupuje do kondenzátoru, nebo je v případě odběrové páry kondenzačních turbín využita v technologických procesech. Zde předá izobaricko-izotermickou změnou kondenzační teplo a voda v kapalném skupenství je čerpadlem dopravena zpět do napájecí nádrže. Zde je po zahřátí odebírána napájecím čerpadlem ke kotli, v kterém doplňuje úbytek vody vlivem odpařování a cyklus je tím uzavřen.

Chemicky čistá voda v tomto prostředí na konstrukci energetických zařízení nijak destruktivně nepůsobí. Avšak může a obsahuje množství příměsí, které tyto poškozují, tím omezují jejich životnost a vedou k jejich možným haváriím.

Kvalita napájecí vody je proto určena legislativně a hodnoty pro maximální množství sledovaných hodnot určuje ČSN 07 7403 „Voda a pára pro tepelné energetické zařízení s pracovním tlakem 8 MPa a vyšším“ [3]. Tyto jsou zobrazeny v tabulce 1.

ukazatel	rozměr	hodnoty podle tlaku			
		bubnový kotel		průtočný kotel	
		8 – 12 MPa	nad 12 MPa	podkritický	nadkritický
$\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$	$\text{mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$	1,5 / 1	1 / 1	0,25 / 0,1	0,1 / 0,05
kyslík	$\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	10	10	10	10
celk. Fe	$\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	20 / 20	20 / 10	20 / 10	10 / 5
celk. Cu	$\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	5	5	5	5 / 3
suspenze	$\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	50	50 / 30	50 / 30	30 / 15
pH (při 25°C)	-	8,7 – 9,2	8,7 – 9,2	8,7 – 9,2	8,7 – 9,2
vodivost	$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	-	-	0,3	0,3
SiO_2	$\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	-	-	20	20
$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	$\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	-	-	10	10
hydrazin	$\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	10 - 100	10 – 100	10 – 100	10 - 100

Tabulka 1: Předepsané parametry napájecí vody [3]

Aby bylo možno dosáhnout požadovaných parametrů je zapotřebí napájecí vodu zbavit nežádoucích příměsí.

2.1 Nežádoucí příměsi napájecí vody

Tyto příměsi lze rozdělit do několika kategorií podle:

- druhů nečistoty
 - minerální (anorganické)
 - organické

- disperzní soustavy
 - makrodisperze: částice $>10^{-6}m$)
 - suspenze
 - emulze
 - mikrodisperze
 - koloidní (nepravé roztoky) – částice 10^{-8} až $10^{-6}mm$
 - molekulární (pravé roztoky) – částice $<10^{-8}m$
- kvantitativního dělení (dle koncentrace)
 - hlavní $> 10 \text{ mg} \cdot l^{-1}$
 - vedlejší 1 až $10 \text{ mg} \cdot l^{-1}$
 - stopové $< 1 \text{ mg} \cdot l^{-1}$

2.2 Metody úprav napájecí vody

Úprava napájecí vody spočívá v následujících základních technologických postupech.

- odstranění hrubých nečistot a nerozpuštěných (suspendovaných) organických i minerálních látek
- snížení obsahu rozpuštěných minerálních sloučenin
- změkčování: snížení obsahu hořčíku a vápníku
- odsolení (demineralizace, odtud pojem demivoda): odstranění solí sodíku, draslíku, hliníku a železa
- desilikací: odstraňování solí kyseliny křemičité
- odplynění: odstranění rozpuštěných plynů

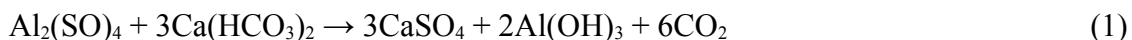
Odstranění hrubých nečistot a nerozpuštěných organických i minerálních látek

Nerozpustné látky v surové vodě mohou být ve formě nerozpustných minerálů, solí anorganických kovů a organických látek. Všechny tyto látky způsobují usazování nečistot v komorách kotlů, což má za následek zhoršení cirkulace kotelní vody a může vést až k jejímu lokálnímu zastavení, následnému tepelnému namáhání (přehřátí) várníc, jejich poškození (roztržení) a důsledkem je vznik netěsnosti tlakového celku kotle. Důležité je rovněž odstranit z vody organické látky (např. oleje). Jejich termickým rozkladem vznikají látky snižující povrchové napětí kapaliny, což zapříčiňuje zpěnění na hladině bubnu. Nečistoty z pěny tak můžou snáze proniknout až do přehříváku, kde vytvoří nánosy se stejně negativními následky (namáhání a ohrožení těsnosti tlakového celku). Celkově je technologicky negativní vlastností nerozpustných látek zanášení navazujících částí úpravny vody a snížení jejich účinnosti.

Nejběžnější metodou je dvoustupňový proces složený z číření a filtrace, nejmodernější technologií je ultrafiltrace.

Číření a filtrace

Je technologický postup, který má za cíl zvětšení mikroskopických částic na velikost potřebnou k zachycení následnou filtrací. Do vířící surové vody jsou do válcové nádoby s konickým dnem přidávány koagulanty (nejčastěji síran hlinitý nebo železitý) s vápnem a ten ve vodě vytvoří málo rozpustný hydroxid hlinitý. Rovnice (1).



Jeho částice vytvářejí mrak vloček (agregují) a nabalují na svůj povrch mikroskopické nečistoty včetně většiny koloidních částic. Agregáty vlivem rozdílné hustoty sedimentují a jsou z konusového dna odstraněny.

Část nečistot nezachycených v čířiči se z vody odstraňuje filtrací. Filtrace je proces oddělení nerozpuštěných látek průtokem přes vrstvu zrnitého materiálu, nejčastěji písku. Nejedná se pouze o prosté mechanické cezení, ale je komplexnějším procesem využívajícím i další fyzikálně-chemické principy (sedimentace, adsorpce, elektrostatické působení). Nejčastěji užívaným typem jsou tlakové filtry.

Filtrační rychlost se pohybuje do $20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ při maximálním přetlaku $0,6 \text{ MPa}$. Po zanesení filtrační náplně se tato protiproudně promývá.

Snižování obsahu rozpuštěných minerálních sloučenin

Napájecí voda musí být zbavena tvrdosti, tj. zejména hořčíku, vápníku a koloidního křemíku. Tyto nečistoty by v trubkách kotle vytvořily minerální úsady se všemi důsledky. U křemíku navíc vyplývá nutnost jeho odstranění v tom, že při $\text{pH} < 10$ neiontový oxid křemičitý téká do páry a při její expanzi v turbíně se křemík usazuje ve formě krystalického SiO_2 na jejich lopatkách. Tento jev přispívá ke zvyšování tlakové ztráty zařízení a může v krajním případě způsobit i jeho havárii (poškození axiálního ložiska)

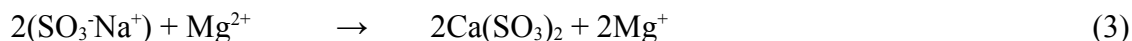
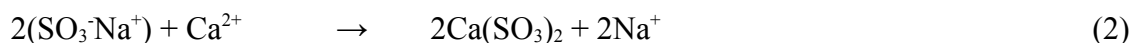
Změkčování a demineralizace

V tomto procesu se filtrovaná voda zbavuje Ca^{2+} a Mg^{2+} na ionexech. Jedná se o konstrukčně podobné zařízení jako filtr, rozdíl je náplní. U ionexů je náplň tvořena namísto písku speciální pryskyřicí ve formě drobných kuliček. Do těchto pryskyřic jsou při jejich výrobě zabudovány chemické sloučeniny (báze, funkční skupiny), umožňující výměnu iontů mezi změkčovanou vodou a povrchem náplně.

Z hlediska funkce se dělí do dvou kategorií a čtyř podkategorií

- katexy - měniče kationtů, obsahující kyselou bázi
 - slabě kyselé - disociace probíhá pouze v neutrálním nebo zásaditém prostředí
 - silně kyselé - disociace probíhá při jakémkoliv pH
- anexy – měniče aniontů, obsahující zásaditou bázi
 - slabě bazické - disociace probíhá pouze v neutrálním nebo kyselém prostředí
 - silně bazické - disociace probíhá při jakémkoliv pH

Čířená a filtrovaná voda vstupuje do silně kyselého katexu, kde dochází k výměně Ca^{2+} a Mg^{2+} za ionty sodíku Na^+ , které nezpůsobují tvrdost vody. Rovnice (2) a (3).



Vystupující změkčená voda vstupuje do slabě bazického anexu, kde probíhá dekarbonizace, další odstraňování vápníku a uvolnění v kyselině vázaného oxidu uhličitého, rovnice (4).



Za výstupem je voda vyvedena k odvětrání uvolněného CO_2 a následně hnána čerpadlem vstupuje do silně bazického anexu.

Finální částí demineralizační linky je mix-bed, směs katexu a anexu, kde se zachytává zbytková tvrdost, železo a mangan.

Celá tato linka je v Biocelu už mnoho let funkční, ale při jejím provozu se ukazuje jeden nedostatek. Je sice schopna dosáhnout na limity určené normou ČSN 07 7403, ale ukázalo se, že množství křemičitanů i tak způsobuje zanášení lopatkování turbin a ty musely být v určitých časových intervalech mechanicky čištěny od nánosů.

Proto bylo v rámci modernizace závodu přistoupeno k vybudování nové moderní technologie.

Ultrafiltrace a reverzní osmóza

Metoda je založena na využití polopropustných membrán jako separačních elementů kde tlakový spád je hnací silou pro jejich dopravu přes tyto membrány.

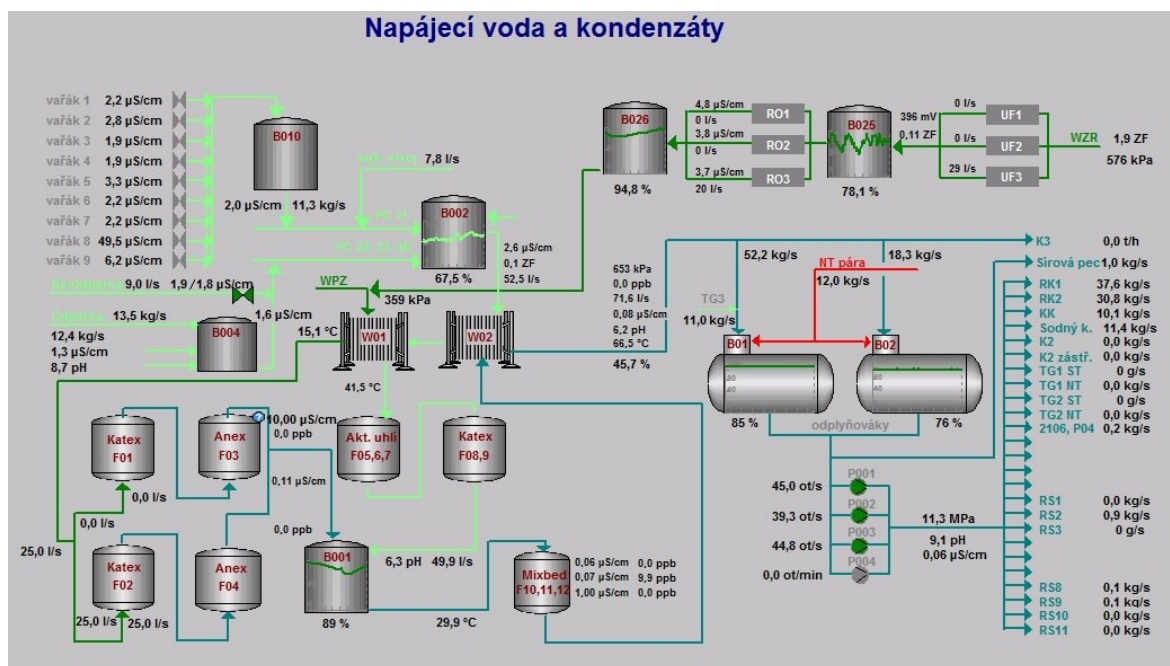
Surová (žermanická) voda je dopravena na sítové předfiltry a vstupuje do linky ultrafiltrace. Zde je zbavena mechanických nečistot a části koloidních látek.

Po vyfiltrování vstupuje do linky reverzní osmózy, kde je zbavena solnosti a zbytků koloidů, včetně koloidního křemíku a vystupuje z ní jako tzv. permeát.

Po této úpravě permeát prochází úpravou na původní demilince.

Výsledkem je téměř dokonale vyčištěná voda splňující i ty nejvyšší nároky.

Schéma úpravy vody v Biocelu Paskov je na obrázku 1.



Obrázek 1: Schéma úpravy napájecí vody

Odplynění

Odplynění je předposlední fází úpravy napájecí vody. V Biocelu jsou v současnosti k dispozici k dispozici dva odplynovače C 001 a C 002, které svou svou kapacitou již nepostačují současné spotřebě.

Popis této úpravy je podrobně popsán v kapitole 3.

Úprava pH

Poslední technologickou úpravou napájecí vody před kotlem je úprava pH. Důvodem je prevence koroze uhlíkatých ocelí alkalizací. Provádí se nejčastěji dávkováním roztoku čpavkové vody do potrubí samostatným čerpadlem.

Při dávkování je nutná průběžná kontrola hodnoty pH, neboť toto opatření má dva dopady. Prvním je ten, že přidáváním (jakékoliv) chemikálie se následně zvyšuje salinita kotelní vody s nutností zvýšeného odluhování. Druhým a vážnějším důsledkem je, že předávkování roztoku způsobuje tzv. louhovou křehkost oceli.

3. Odplynění

Odplynění je technologický postup, při kterém jsou z napájecí vody odstraňovány rozpuštěné plyny. Prioritní je odstranění kyslíku pro jeho agresivitu vůči oceli, kdy koroze narušuje povrch trubek, bubnu a armatur a ty jsou následně neopravitelně poškozeny.

Plyny se do systému napájecí vody dostávají z vnějšího prostředí difúzí. Nachází se ho nejvíce v přídavné vodě z vnějších vodních zdrojů (řeky, přehrady), ale vyskytuje se i u vratných kondenzátů z parních otopných systémů, tam kde dochází k jejich kontaktu se vzduchem.

3.1 Složení rozpuštěných plynů

Z hlediska provozu odplyňovače je zajímavý poměr jednotlivých plynů ve vodě. Z tohoto pohledu je podstatný hlavně poměr mezi dusíkem a kyslíkem, složkami s nejvyšší koncentrací v atmosféře, podíl ostatních plynů je zanedbatelný.

Zatímco v atmosféře je poměr $r_{atm} (N_2 : O_2)$ cca 4 : 1, ve vodě se v důsledku fyzikálního principu popsaným Henryho zákonem rozpuštěných plynů (rovnice 5) změní:

$$c = k \cdot p \quad (5)$$

c $[mol_{aq}/dm^3]$ koncentrace plynu v kapalině

k $[\frac{mol_{aq}/dm^3}{Pa}]$ Henryho konstanta

p $[Pa]$ parciální tlak plynu v atmosféře nad hladinou

poměr r_v ve vodě rozpuštěných plynů O_2 a N_2 za normálních podmínek (hodnoty k_{O_2} a k_{N_2} [6]) je potom:

$$r_v = \frac{c_{O_2}}{c_{N_2}} = \frac{k_{O_2} \cdot p_{O_2}}{k_{N_2} \cdot p_{N_2}} = \frac{132 \cdot 0,21}{61,8 \cdot 0,78} = 0,57 [-]$$

Poměr se tedy mění přibližně na 1: 2 a i když dusík není agresivní vůči kotelnímu zařízení, je nutno s jeho množstvím počítat, protože z vody se vylučuje současně s kyslíkem.

3.2 Metody odplynění

Z hlediska technologického jsou využívány dvě základní metody odplynování:

- chemická
- termická

Chemická metoda

Chemická metoda spočívá v dávkování činidel vázajících volný kyslík.

Např. dávkování hydrazinu:



Metoda může vhodně navazovat na termickou metodu, kdy odstraní poslední zbytky kyslíku.

Termická metoda

Termická metoda vychází z poznatku, že rozpustnost plynů do vody klesá se stoupající teplotou (obr.2). Tento jev je popsán Henryho zákonem, rovnice (8), tím, že Henryho konstanta k je i funkcí teploty [6] a platí pro ni:

$$k = k_0 \cdot e^{\left(\frac{-\Delta i}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)\right)} \left[\frac{\text{mol}_{\text{aq}} / \text{dm}^3}{\text{Pa}} \right] \quad (8)$$

$$k_0 \quad \left[\frac{\text{mol}_{\text{aq}} / \text{dm}^3}{\text{Pa}} \right] \quad \text{Henryho konstanta při teplotě } T_0$$

$$\Delta i \quad [J \cdot \text{kg}^{-1}] \quad \text{rozdíl entalpií vody}$$

$$R \quad [J \cdot K^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}] \quad \text{univerzální plynová konstanta}$$

T	[K]	teplota vody
T_0	[K]	$T_0 = 298,15 \text{ K}$

Pro dokonalé odplynění je nutno vodu zahřát alespoň na teplotu 105°C.

3.3 Zařízení pro termické odplynění

Zařízení se obecně nazývají odplyňovače [2] a dělí se podle:

- umístění na:
 - interní - usazené nad zásobní napájecí nádrž, s kterou tvoří společný tlakový celek a voda do nádrže natéká samospádem .
 - externí - umístěné mimo nádrž, voda je odváděna podle dispozice buďto čerpadlem nebo samospádem
- konstrukce
 - rozprašovací (spray)
 - kombinované (spray & tray)

Popis odplyňovače

Odplyňovač je typ směšovacího výměníku, ohřívané i ohřívající médium od sebe nejsou odděleny a dochází v něm k jejich mísení. Pára po předání svého kondenzačního tepla změní skupenství a stává se součástí odplyněné vody.

Základním prvkem konstrukce odplyňovače je válcová tlaková nádoba s přívodním potrubím vody a páry a odtahovým potrubím pro odvod odplyněné vody a brýdových par.

Voda je přiváděna z horní části, pára z dolní.

Odvod vzduchu

Pokud bude uvažováno s hodnotami, které jsou použity pro další výpočty tzn:

obsah kyslíku ve vodě při 80 °C 3 ppm, potom:

přibližné množství celkového vzduchu 9 ppm

pak to znamená, že při maximálním průtoku $360 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$ je zapotřebí z odplyňovače kontinuálně odvádět do atmosféry každou sekundu 0,9 g vzduchu, což při normálních podmínkách představuje asi $1,16 \text{ dm}^3$.

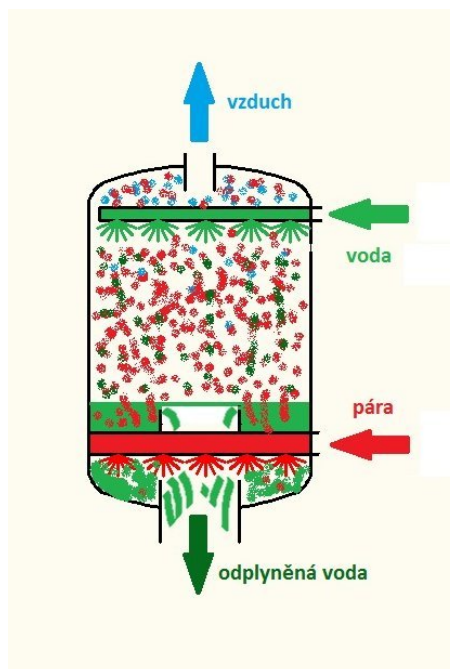
Pokud by plyny coby nekondenzující příměs nebyly dostatečně odváděny ven, došlo by v odplyňovači následkem zvyšování jejich koncentrace k poklesu parciálního tlaku páry. To by znamenalo pokles teploty rosného bodu (teploty saturace), čímž by zařízení snižovalo svoji účinnost odplynění.

Uvolněné plyny z odplyňovače odchází ve směsi s párou jako tzv. brýdová pára což je v důsledku ztráta vody, ale i tepla a tedy i účinnosti. Pro snížení ztráty se na horní část před vývodním potrubím vzduchu umísťuje malý prostor vybavený sprchou, která malým množstvím vody snižuje podíl vodní páry v brýdové páře. Řízení množství odpouštěné brýdové páry je zajišťováno ručně ovládaným ventilem.

Bylo by technicky náročné řídit množství odváděného vzduchu podle koncentrace vstupujících rozpuštěných plynů a proto se na základě praktických zkušeností [21] uvádí, že na každou tunu odplyňované vody je potřeba odvést 0,5 – 2 kg parovzdušné směsi.

Rozprašovací odplyňovač

Základním a nejjednodušším typem je rozprašovací odplyňovač. Proti proudu rozstříkované vody je zdola veden proud páry, která zajišťuje její intenzivní zahřívání (obrázek 3). Z vody se vlivem tepla uvolňují plyny, které jsou odváděny ven.



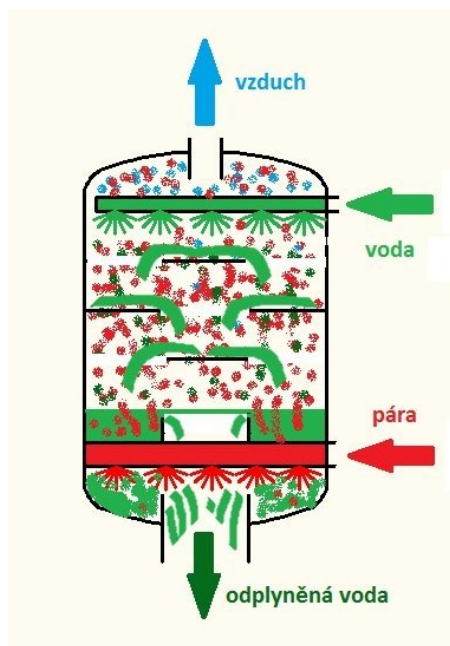
Obrázek 3 : rozprašovací odplyňovač

Ze spodní části je voda samospádem odváděna do zásobníku napájecí vody. Nevýhodou tohoto uspořádání je nižší účinnost odplynění. Tento typ se používá pouze u kotelních jednotek nízkých výkonů, pro vyšší výkony se používá kombinovaná konstrukce.

Kombinovaný odplyňovač

V ní je horní část s rozstřikovači podobná předešlé, ale navíc se do nádoby umístí několikapatrová vestavba kaskád, tvořená jednotlivými miskami. Vestavba tvoří jediný celek, která je položena a upevněna na rámu přivařenému k vnějšímu plášti.

Misky jsou ocelové plechy umístěné střídavě tak, aby přepadající voda na každém jednotlivém patře kaskády otočila směr proudu na opačný (obrázek 4).



Obrázek 4 : kombinovaný odplyňovač

Kaskády jsou perforované a opatřené lemem, kterým vytváří tzv. misku udržující na její ploše vrstvu vody. Přes hranu buďto hladkého blánovitě anebo v případě česlovitého lemu v úzkých proudech voda přepadá na níže položenou misku. V této proud padající vody způsobuje rozstříkávání, čerění hladiny a intenzivní promíchávání obsahu.

Perforací misek proniká voda, což má dvojitý účinek. Miska je lépe ochlazována, čímž dochází ke zvýšení přestupu tepla a zároveň na dolní ploše vzniká množství drobných kapek zaplňujících parní prostor.

Voda svůj volný pád odplyňovačem několikrát zastaví, setrvá ve výměníku ve srovnání se stejně rozměrným bezkaskádovým řešením delší dobu a odplyňovač je tedy při stejné velikosti výkonnější s vyšší účinností odplynění.

Nejdůležitější funkcí misek je ale to, že při mísení intenzivněji unikají rozpuštěné plyny, což je smyslem konstrukce aparátu. Pro vyšší efektivitu tohoto procesu se do nádoby umísťuje několik pater těchto misek.

Pro ilustraci je na obrázku (obrázek 5) vidět uspořádání vestavby v menším (výkon $15 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$) odplyňovači kotle K-3 v Biocelu Paskov.



Obrázek 5 :vestavba odplyňovače

3.4 Měření obsahu rozpuštěného kyslíku

V běžném provozu se za normálního stavu neprovádí žádné měření obsahu rozpuštěného kyslíku demivody vstupující do odplyňovače. Jak bylo zmíněno, jeho množství je kolísavé, rovněž množství napájecí vody pro provoz není konstantní a je tedy nutné určit jaké množství brýdové páry je nutné odvádět pryč do atmosféry.

Pro kvalitu napájecí vody by bylo ideální, kdyby směsi bylo co nejvíce, ale zde hraje limitní roli ekonomický zájem minimalizovat ztráty v podobě unikajícího tepla a vody. Proto je na výstupu, resp. až dále od něj na rozdělovači před napájecími čerpadly vloženo automatické on-line měření (analyzátor, obrázek 6) obsahu rozpuštěného kyslíku.



Obrázek 6 : Analyzátor rozpuštěného kyslíku

Podle výsledků měření a sledování trendu zaznamenaných hodnot je potom možné systém odplynění v optimálním režimu řídit.

Pro měření je nutno k analyzátoru kontinuálně přivádět vzorek napájecí vody. To zajišťuje do rozdělovače zaústěné vzorkovací potrubí, které přes chladič k analyzátoru přivádí malé množství odplyněné vody (cca $0,1 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$).

Měřicí přístroj je principiálně založen na pracovní elektrodě umístěné v elektrolytu, která je od vzorku oddělena plynopropustnou membránou. Prostupující kyslík na elektrodě reaguje za vzniku hydroxidových iontů čímž vzniká mezi elektrodami měřitelný proud, který je v elektronickém převodníku podle nastavených algoritmů přepočten na obsah kyslíku.

4. Návrh nového odplyňovače

4.1 Výpočet teplosměnných ploch.

4.1.1 Přenos tepla v odplyňovači

Teplo páry přechází do vody kondenzací páry

- na miskách
 - na spodní ploše
 - na hladině
- na povrchu rozprášené vody
- ve vodním objemu

Část tepla je předávána konvexí na ploše parní barbotáže.

4.1.2 Metoda výpočtu

4.1.3 Metoda přímého výpočtu

Metoda přímého výpočtu je založena na využití existujících rovnic popisujících přenos tepla

Jak bylo popsáno v předchozí kapitole, přestup tepla probíhá ve více stupních:

- ohřevem kapek kondenzací páry na jejich povrchu
- v horním prostoru při rozprašování
- v meziprostoru etáží misek průsakem vody skrz perforaci plechu
- průchodem bublin páry objemem vody v dolním prostoru pod hladinou přepadu
- kondenzací páry na plochách misek

Jedná se o komplikovaný mechanismus, kde nejpřehledněji se jeví vyřešení kondenzace na miskách.

Protože voda v misce je obklopena teplejším prostředím z obou stran, je zapotřebí situaci rozdělit na dvě samostatné plochy (horní a dolní) a popsat řešení.

Předpokladem je úvaha, že pohyb vody v miskách je turbulentní a její teplota je tedy konstantní v celém průřezu misky.

Pro přenos tepla q rovinnou deskou obecně platí[1]:

$$q = \frac{\Delta t}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{n=1}^n \frac{l_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}} [W \cdot m^{-2}] \quad (9)$$

$\alpha_{1(2)}$	součinitel přestupu tepla	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
-----------------	---------------------------	---------------------------------

l_i	síla materiálu	$[m]$
-------	----------------	-------

λ	součinitel tepelné vodivosti	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$
-----------	------------------------------	---------------------------------

Δt teplotní difference [K]

Dolní polovina misky:

zdola:

α_l součinitel přestupu tepla při kondenzaci [W·m⁻²·K⁻¹]

$l = 0,005$ tloušťka ocelového plechu [m]

$\lambda = 50$ součinitel tepelné vodivosti oceli [W·m⁻¹·K⁻¹]

α_2 souč. přest. tepla při nuceném proudění [W·m⁻²·K⁻¹]

$$\Delta t = t_p - t_{v,s} = 145 - 72,5 = 72,5 \text{ K} \quad (10)$$

Pro zjištění $\alpha_{l,2}$ se užije Nusseltovo kritérium podobnosti Nu [1]:

$$Nu_{1,2} = \frac{\alpha_{1,2} \cdot l}{\lambda} \quad (11)$$

Hodnota Nu_l pro filmovou kondenzaci je dána kritériální rovnicí [1]:

$$Nu_1 = C \cdot \left[\frac{\lambda^2 \cdot \rho^3 \cdot \Delta h}{l \cdot \eta \cdot (t_p - t_w)} \right]^{0,25} \quad [-] \quad (12)$$

C konstanta [-]

λ_l tepelná vodivost kondenzátu [W·m⁻¹·K⁻¹]

ρ hustota kondenzátu [kg·m⁻³]

Δh výparné teplo [J·kg⁻¹]

l charakteristický rozměr [m]

η_l dynamická viskozita kondenzátu [Pa·s]

t_w teplota stěny [K]

shora:

Hodnota Nu_2 pro nucené turbulentní proudění [1]:

$$Nu_2 = 0,0356 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \quad (13)$$

$$Re = \frac{w \cdot l \cdot \rho}{\eta} \quad \text{Reynoldsovo kritérium}$$

(14)

w charakteristická rychlost proudění kapaliny [m·s⁻¹]

η_2 dynamická viskozita vody [Pa·s]

ρ hustota vody [kg·m⁻³]

$$Pr = c_p \cdot \frac{\eta}{\lambda} \quad \text{Prandtlovo kritérium} \quad (15)$$

Hodnoty α_1 a α_2 lze iterační metodou získat z rovnic (11) a (13) .

Jakmile jsou z výpočtů k dispozici hodnoty α_1 a α_2 je možno z rovnice (9) zjistit tepelný tok přes dolní plochu misky.

Horní polovina misky

Zde teplo přechází kondenzací páry přímo na vodní hladině.

Omezení použitelnosti přímé výpočetní metody.

Omezení metody vyplývá z:

- neexistence určení konstanty C a určujícího rozměru l .

Pro rovnici (12) jsou v literatuře uvedeny konstanty C pro svislou desku a trubku a vodorovnou trubku, pro vodorovnou desku už nikoliv. Úvahou sice lze považovat desku za trubku s nekonečně velkým průměrem ($l = r = \infty$), pak ovšem z rovnice (12) vyplývá hodnota $Nu_l = 0$ se všemi důsledky.

Při kondenzaci páry na turbulentní vodní hladině je (12) rovněž omezeně použitelná, neboť mimo i zde přítomný výše uvedený problém s určením hodnot C a l , nelze při intenzivním pohybu vody navíc ani předpokládat existenci filmu kondenzátu.

- přítomnosti inertu v páře

Kriteriální rovnice (12) je postavena na předpokladu kondenzace čistých par, v tomto případě se tak ale děje za přítomnosti nekondenzujících plynů uvolňovaných z vody. Tato skutečnost způsobuje, že skutečná hodnota součinitele přestupu tepla je jen zlomkem hodnoty případně vypočtené.

- určení přestupu tepla do pohybující se kapky vody

Určit výpočtem přestup tepla při kondenzaci na padající kapce vody sice je možné, ale je to úkol natolik rozsáhlý, že je mimo prostor této diplomové práce.

Ve shrnutí je možno na základě dostupné literatury [5] konstatovat, že množství sdíleného tepla ve výměnících s přímým kontaktem médií při současné změně skupenství (kondenzátory) je funkcí několika rozhodujících faktorů:

- rozdílu teplot kapaliny a par
- teplotního gradientu kapaliny, který je dále závislý na její velikosti a tvaru povrchu
- době trvání

Protože sdílení tepla v takto konstrukčně řešených zařízeních probíhá na povrchu kapaliny, nedá se tedy zcela jednoznačně definovat velikost teplosměnných ploch jako u výměníků se separovanými médii.

Tyto argumenty vedou k závěru, že pro splnění zadání práce není možno spolehlivě využít přímou výpočtovou metodu a je nutno použít jinou.

4.1.4 Metoda přirozeného modelu

Popis metody

Tato práce využívá teorie podobnosti na prvním stupni abstrakce, tzn. jedná se o fyzikální podobnost podle přirozeného modelu.

Metoda je založena na geometrické podobnosti modelu a díla za použití měřítka podobnosti.

Jako modelu je využito dvojice existujících odplyňovačů.

Pro tento druh podobnosti jsou charakteristické tři základní podmínky:

- je u ní zcela zachován fyzikální proces, včetně totožných pracovních látek.

V tomto případě jde o sdílení tepla mezi párou a vodou o shodných parametrech.

- měřítko modelu a díla jsou v řádech jednotek.

Jak bude ukázáno podobnost díla je v měřítku blízkém 1.

- veličiny modelu jsou měřitelné

Nebyly zjištěny žádné parametry odporující podmínce.

Zde jsou tedy všechny tři podmínky splněny a metodu lze použít.

Postup výpočtu

Porovnáním rozměrů a výkonů C 001 a C 002 (modelů) určím:

- relativní objem střední části odplyňovače v poměru k jejich středním výkonům a z takto určeného relativního objemu výpočtu objem střední části C 003.
- regulační rozsah navrhovaného C 003

Ostatní rozměry navrhovaného C 003 budou určeny geometrickou konstantou podobnosti danou poměrem středních výkonů výkonově podobnějšího C 001 a navrhovaného C 003 s výjimkou rozměrů určených odlišně od principu geometrické podobnosti. Odlišně jsou určeny tyto:

- rozměry a počet trysek rozprašovací hlavy

Důvod: vysvětlen v kapitole 4.2.4

- rozměr revizního průlezu

Důvod: neexistuje důvod pro zvětšení

- rozměr odvětrávacího potrubí (odvětrávací hrdlo)

Důvod: naddimenzovanost současného řešení

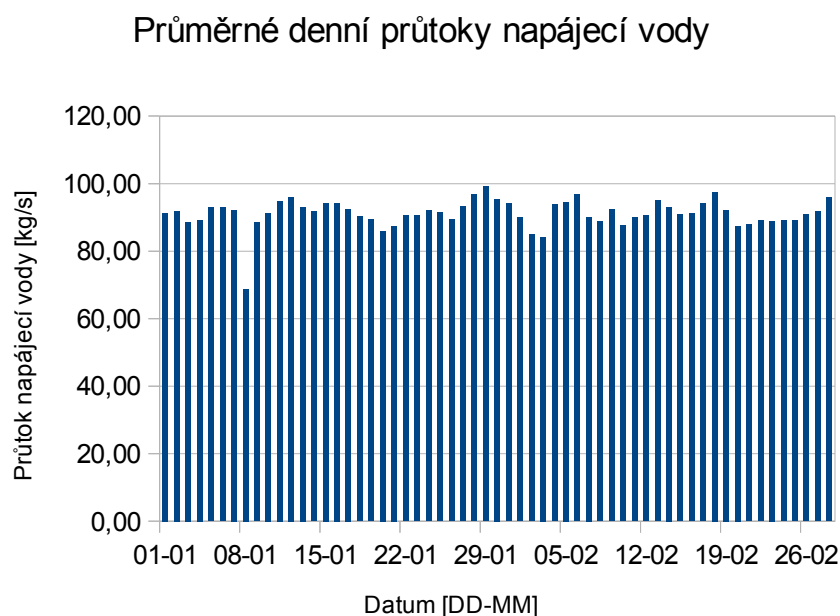
- rozměr přívodního parního potrubí (parní hrdlo)

Důvod: dostatečná dimenzovanost současného řešení a ekonomické důvody (nutnost výměny celého přívodního parovodu)

4.2 Určení rozměrů a parametrů odplyňovače C003

4.2.1 Určení maximálního výkonu odplyňovače

Určení maximálního výkonu C 003 je vyjádřený maximálním množstvím odplyněné napájecí vody, kdy tento výkon musí odpovídat současné spotřebě. Na grafu 1 jsou znázorněny skutečně naměřené denní průměrné průtoky odebírané napájecí vody z napájecích nádrží v období od 1.1.2014 do 28.2.2014, zaznamenané řídicím systémem Damatic. V tabulce 2 (tabulka 2) je jejich statistické vyhodnocení.



Graf 1: Denní průměry odebírané napájecí vody

minimum	maximum	průměr	medián
$kg \cdot s^{-1}$			
68,7	95,9	93,6	91,3

Tabulka2: Statistické vyhodnocení

Ze statistického přehledu určuji výkon odplyňovače C003 vyjádřený maximální kapacitou odebírané napájecí vody \dot{m}_{max} jako hodnotu mediánu zvýšenou o 10% :

$$\dot{m}_{max} = 1,1 \cdot 91,3 = 100 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} (360 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1})$$

Vypočtená hodnota nepřekračuje hodnotu maxima ve sledovaném období, maximální množství odplyněné vody určuji:

$$\dot{m}_{max} = 360 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$$

4.2.2 Určení dalších rozměrů a parametrů odplyňovače C003

K dispozici jsou dva stávající odplyňovače C 001 a C 002. K určení rozměrů C003 je použito jejich dispozic (tabulka 3).

	průměr	výška	výkon		
	$D_{el(2)}$	$V_{l(2)}$	$\dot{m}_{min1(2)}$	$\dot{m}_{max1(2)}$	$\dot{m}_{stř1(2)}$
	mm	mm	$\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$	$\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$	$\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$
C 001	2600	3000	65	245	155
C 002	1600	3000	25	100	62,5

Tabulka3: Základní rozměry a parametry C001 a C002

Výška ohřevové části je u obou stejná a souvisí s funkční závislostí přenosu tepla přes povrch rozprašené vody a na době jejího průletu parním prostorem.

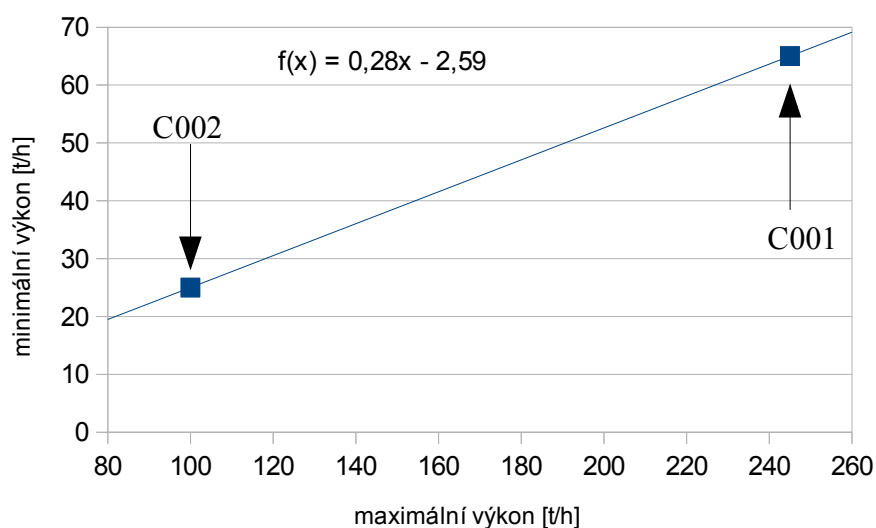
Výšku v ohřevové části určuji rovněž na

$$v = 3000 \text{ mm}.$$

Určení minimálního a středního výkonu odplyňovače.

S využitím tabulkového procesoru určím funkční závislost maximálního \dot{m}_{max} na minimálním výkonu \dot{m}_{min} pro C 001 a C 002.

Závislost maximálního na minimálním výkonu C001 a C002



Graf 2: závislost min. a max. výkonu C001 a C002

Dosažením do rovnice regresní přímky určím minimální výkon C003:

$$\dot{m}_{min} = 0,2759 \cdot m_{max} - 2,5862 = 0,2759 \cdot 360 - 2,5862 = 96,7 \cong 95 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1} \quad (16)$$

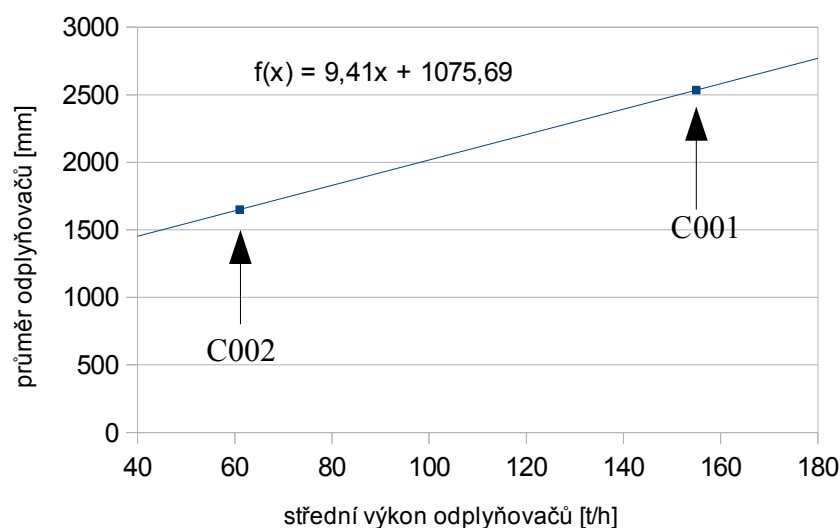
Střední výkon je aritmetickým průměrem minimálního a maximálního výkonu

$$\dot{m}_{stř} = \frac{\dot{m}_{min} + \dot{m}_{max}}{2} = \frac{360 + 96,7}{2} = 228 \cong 230 [\text{t} \cdot \text{h}^{-1}] \quad (17)$$

Určení průměru

Průměr určím z funkční závislosti průměrů D_{e1} a D_{e2} na středních výkonech $\dot{m}_{stř1}$ a $\dot{m}_{stř2}$ (tabulka 3), kdy opět tabulkovým procesorem zjistím příslušnou regresní funkci průměr D_e pro navrhovaný C 003 (graf 3).

Funkční závislost středního výkonu na průměru odplyňovačů



Graf 3 : závislost středního výkonu na průměru odplyňovačů

Průměr D_e , je vypočten dosazením do regresní rovnice:

$$D_e = 9,41 \cdot \dot{m}_{stř} + 1076 = 9,41 \cdot 230 + 1076 = 3241 [mm] \quad (18)$$

Průměr odplyňovače určuji na:

$$\underline{D_e = 3250 \text{ mm.}}$$

Základní rozměry a parametry C 003 jsou uvedeny v tabulce 4.

	průměr	výška	výkon		
	D_e	V_I	\dot{m}_{min}	\dot{m}_{max}	$\dot{m}_{stř}$
	mm	mm	t·h ⁻¹	t·h ⁻¹	t·h ⁻¹
C 003	3250	3000	95	360	230

Tabulka 4: Základní rozměry a parametry C003

Určení konstanty podobnosti c_D .

Pokud nebude uvedeno jinak, pro další výpočty bude platit konstanta podobnosti c_D , která je odvozena od poměru průměru stávajícího C 001 a nového C 003

$$c_D = \frac{D_e}{D_{el}} = \frac{3250}{2600} = 1,25 [-] \quad (19)$$

4.2.3 Energetická bilance a tepelný výkon odplyňovače

Výpočet energetické bilance odplyňovače vychází ze dvou zákonů:

- zákona zachování hmoty:

$$\dot{m} = \dot{m}_{DV} + \dot{m}_p \quad (20)$$

kde:

\dot{m} hmotnostní průtok vystupující napájecí vody [kg·s⁻¹]

\dot{m}_{DV} hmotnostní průtok vstupující demivody [kg·s⁻¹]

\dot{m}_p hmotnostní průtok vstupující páry [kg·s⁻¹]

- zákona zachování energie:

$$\dot{m}_{DV} \cdot i_{DV} + \dot{m}_p \cdot i_p = \dot{m} \cdot i \quad (21)$$

Vstupní hodnoty:

i_p entalpie vstup. syté páry ($p = 450 \text{ kPa}$) $i_p = 2765 [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}]$

i entalpie vystupující napájecí vody $i = 605 [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}]$

i_{DV} entalpie vstupující demivody pro teplotu:

$T_{DV,min}$ minimální (60°C) $i_{DV,min} = 252 [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}]$

$T_{DV,stř}$ střední (72,5°C) $i_{DV,stř} = 304 [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}]$

$T_{DV,max}$ maximální (85°C) $i_{DV,max} = 356 [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}]$

a tři průtoky napájecí vody:

\dot{m}_{min} minimální hmot. průtok nap. vody $\dot{m}_{min} = 27,8 [\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}]$

$\dot{m}_{stř}$ střední hmot. průtok nap. vody $\dot{m}_{stř} = 63,4 [\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}]$

\dot{m}_{max} maximální hm. průtok nap. vody $\dot{m}_{max} = 100 [\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}]$

Nejprve je určeno množství páry $\dot{m}_{p, stř(max,min)}$ v režimech středního a mezních výkonů. K výpočtu je použito parametrické rovnice (22.1) -(22.3) sestavené z rovnic (20) a (21)

$$\dot{m}_{p, max} = \frac{\dot{m}_{max} \cdot (i - i_{DV, min})}{i_p - i_{DV, min}} \quad (22.1)$$

$$\dot{m}_{p, stř} = \frac{\dot{m}_{stř} \cdot (i - i_{DV, stř})}{i_p - i_{DV, stř}} \quad (22.2)$$

$$\dot{m}_{p, min} = \frac{\dot{m}_{min} \cdot (i - i_{DV, max})}{i_p - i_{DV, max}} \quad (22.3)$$

Výkon odplyňovače je určen rozdílem celkového množství vnitřní energie vystupující napájecí vody a vstupující demi vody:

$$P = \dot{m} \cdot i - \dot{m}_{DV} \cdot i_{DV} = \dot{m} \cdot i - (\dot{m} - \dot{m}_p) \cdot i_{NV} \quad (23)$$

Výsledky jsou uvedeny v tabulce 5.

výkon	demi voda		pára	nap.voda	tepelný výkon
	$\dot{m} [kg \cdot s^{-1}]$	$T [^{\circ}C]$	$\dot{m} [kg \cdot s^{-1}]$	$\dot{m} [kg \cdot s^{-1}]$	$P [MW]$
minimální	23,2	85	3,23	26,4	8,92
střední	57,3	72,5	6,6	63,9	18,3
maximální	85,9	60	14,1	100	38,9

Tabulka 5: Energetická bilance C003

4.2.4 Výpočet parametrů rozprašovací hlavy

S ohledem na hypotézu, že množství předaného tepla páry q do kapek vody je funkcí f velikosti kapek vyjádřenou jejich průměrem D , teplotního spádu mezi médii ΔT a doby po kterou na sebe působí Δt

$$q = f(D; \Delta T; \Delta t)$$

tedy: pokud budou zachovány hodnoty z modelu, bude i v díle výsledná hodnota sděleného tepla stejná.

Cílem dalšího výpočtu je proto určit počet trysek tak, aby dostřík d trysek vnějších řad v rovině protínající středy obou vnějších řad trysek byl podobný dostříku d_I předlohy C001.

Určení délky a průměru rozprašovací hlavy

Určení délky l_H

Délka hlavy C 001 je $l_{HI} = 2268 \text{ mm}$

Pro výpočet použiji konstantu délkové podobnosti c_D

$$l_H = c_D \cdot l_{HI} = 1,25 \cdot 2268 = 2835 \text{ mm} \quad (23)$$

Délku hlavy určuji na $l_H = 2835 \text{ mm}$

Zvětšovat průměr hlavy by mělo smysl jen pokud by došlo k výměně celého stávajícího potrubí. Proto nejdříve provedu kontrolu rychlosti vody.

$$v_v = \frac{\dot{m}_{stř} - \dot{m}_{p, stř}}{3600 \cdot S_{DV}} = \frac{4 \cdot (230 - 27,9)}{3600 \cdot \pi \cdot 0,2^2} = 2,79 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad \text{vyhovuje}$$

Ponechávám původní průměr hlavy: určuji $D_{iH} = 200 \text{ mm}$

Určení velikosti, geometrie umístění a počtu trysek

Návrh rozměru a počtu trysek

Volím:

$$\underline{D = D_p = 15 \text{ mm}}$$

Model má v hlavě vyvrtáno ve 3 řadách $n_{II} = 163$ děr (trysek) o průměru $D = 15 \text{ mm}$.

Řady mezi sebou svírají úhel $\alpha = 45^\circ$ s tím, že prostřední řada je orientována kolmo vzhůru.

Geometrii pro dílo volím stejně.

Výpočet délky rozstříku stávající hlavy C001

Pro průtok odplyňované vody platí:

$$\dot{m}_{DVI} = \frac{\dot{m}_1 - \dot{m}_{pl}}{3.6 \cdot \rho_t} = \frac{155 - 18,9}{3,6 \cdot 976} = 0,0387 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \quad (24)$$

\dot{m}_{DVI} průtok odplyňované vody $[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$

\dot{m}_1 průtok odplyněné vody $[\text{t} \cdot \text{h}^{-1}]$

\dot{m}_{pl} průtok páry $[\text{t} \cdot \text{h}^{-1}]$

ρ_t hustota vody při dané teplotě $[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$

Výtoková rychlost z jedné trysky:

$$v_{tl} = \frac{\dot{m}_{DVI}}{\mu \cdot S_{tl}} = \frac{4 \cdot \dot{m}_{DVI}}{\mu \cdot \pi \cdot D_p^2 \cdot n_{tl}} = \frac{4 \cdot 0,387}{0,62 \cdot 3,14 \cdot 0,015 \cdot 163} = 2,17 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (25)$$

S_{tl} plocha průřezu trysky $[\text{m}^2]$

D_p průměr trysky $[\text{m}]$

μ výtokový součinitel-volím $\mu = 0,62 [-]$

n_{tl} počet trysek $[\text{ks}]$

Rozklad vektoru rychlosti do vertikálního $v_{tl,h}$ a horizontálního směru $v_{tl,v}$:

pro $\alpha = 45^\circ$ platí, že $v_{tl,h} = v_{tl,v}$ (26)

$$v_{tl,h} = v_{tl} \cdot \cos \alpha = v_{tl,v} = v_{tl} \cdot \sin \alpha \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (27) \quad (28)$$

pro výtokovou rychlost platí obecný vztah:

$$v_{tl,v} = \sqrt{2 \cdot h_1 \cdot g} \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (29)$$

kde: g gravitační zrychlení $g = 9,81$ $[\text{m} \cdot \text{s}^{-2}]$

potom z rovníc (28) a (29) pro výšku oblouku platí:

$$v_{tl} \cdot \sin \alpha = \sqrt{2 \cdot h \cdot g} \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (30)$$

$$h_1 = \frac{(v_{tl} \cdot \sin \alpha)^2}{2 \cdot g} \quad [\text{m}] \quad (31)$$

délka oblouku d_l je určena z poměru mezi jeho výškou a délkou:

výška:

$$2 \cdot h_1 = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 \rightarrow h_1 = \frac{1}{4} v_{tl,v} \cdot t \quad (32)$$

t doba pohybu [s]

délka:

$$d_1 = v_{tl,h} \cdot t \quad [\text{m}] \quad (33)$$

poměr p_l :

$$p_l = \frac{h_1}{d_1} = \frac{1}{4} \cdot \frac{v_{tl,h} \cdot t}{v_{tl,v} \cdot t} \quad [-] \quad (34)$$

jestliže $v_{tl,h} = v_{tl,v}$, potom $p_l = 0,25$ a :

$$d_1 = \frac{h_1}{0,25} = 4 \cdot h_1 = \frac{2 \cdot (v_{tl,v} \cdot \sin \alpha)^2}{g} = \frac{2 \cdot (2,17 \cdot 0,707)^2}{9,81} = 0,479 \text{ m} \quad (35)$$

Výpočet počtu rozprašovacích trysek

Pro délku oblouku v C 003 platí:

$$d = c_D \cdot d_1 = 1,25 \cdot 0,479 = 0,599 \text{ m} \quad (36)$$

Postup inverzní k (24)-(26) určí počet trysek:

výška oblouku:

$$h = \frac{d}{4} = \frac{0,599}{4} = 0,15 \text{ m} \quad (37)$$

výtoková rychlost z trysky

$$v_t = \frac{\sqrt{2 \cdot h \cdot g}}{\sin \alpha} = \frac{\sqrt{2 \cdot 0,15 \cdot 9,81}}{0,707} = 2,43 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (38)$$

průtok jednou tryskou:

$$\dot{m}_t = \mu \cdot v_t \cdot S_t = \frac{\mu \cdot v_t \cdot \pi \cdot D_p^2}{4} = \frac{0,62 \cdot 2,43 \cdot 3,14 \cdot 0,015^2}{4} = 2,66 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \quad (39)$$

počet trysek:

$$n_t = \frac{\dot{m} - \dot{m}_p}{3,6 \cdot \rho_t \cdot \dot{m}_t} = \frac{230 \cdot 27,9}{3,6 \cdot 976 \cdot 2,66 \cdot 10^{-4}} = 219 \text{ ks} \quad (40)$$

Počet trysek určuji na $n_t = 219 \text{ ks}$.

5. Návrh prostorového řešení

Grafický návrh prostorového řešení je vypracován v příloze A.

6. Pevnostní výpočet

Všechny vzorce použité pro výpočty v této kapitole čerpají z platné normy ČSN EN 13445-3 [4].

6.1 Volba materiálu

Konstrukce současných odplyňovačů je provedena z oceli třídy St41KW dle rakouské normy ÖNORM, které odpovídá podle EN 10028-2 nelegovaná ušlechtilá ocel P265GH.

Mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tabulce 6, kde:

R_{eH} minimální mez kluzu

$R_{p0,2t}$ mez kluzu z trvalé deformace pod zatížením R_p ; pro $t=150^\circ\text{C}$, $e < 16$ mm

$R_{p0,2test}$ mez kluzu z trvalé deformace pod zatížením R_p ; pro $t_{test}=20^\circ\text{C}$, $e < 16$ mm

R_m mez pevnosti

A tažnost

R_{eH}	$R_{p0,2t}$	$R_{p0,2test}$	R_m	A
[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	%
265	205	265	410 - 530	22

Tabulka 6: Mechanické vlastnosti oceli EN 10028-2 P265GH

Pro konstrukci C 003 volím ocel EN 10028-2 P265GH.

6.2 Určení hodnoty dovoleného namáhání.

Pro neaustenitické oceli platí vztahy:

pro provoz:

$$f_s = \min \left\{ \frac{R_{p0,2t}}{1,5}; \frac{R_m}{2,4} \right\} = \min \left\{ \frac{205}{1,5}; \frac{410}{2,4} \right\} = \underline{137\text{MPa}} \quad (41)$$

pro testovací podmínky:

$$f_{test} = \frac{R_{p0,2test}}{1,05} = \frac{265}{1,05} = \underline{252\text{MPa}} \quad (42)$$

6.3 Určení výpočtového tlaku.

Výpočtový tlak je hodnota tlaku, která je rovna nebo vyšší než nejvyšší pracovní přetlak, na který jsou nastaveny pojistné ventily tlakové nádoby. Na tuto hodnotu se provádí pevnostní výpočet.

Odplyňovač nemá vlastní pojišťovací ventil. Zabezpečení je řešeno tím, že tvoří jediný tlakový celek s napájecí nádrží vybavenou pružinovým pojistným ventilem. Hodnota otevíracího přetlaku (nejvyšší dovolený tlak) činí $\underline{P_s = 0,35 \text{ MPa}}$.

Pojistné ventily jsou zaručeně zcela otevřeny při tlaku $1,1 \cdot P_s = 0,385 \text{ MPa}$

Konstrukční tlak $\underline{P_d = 0,39 \text{ MPa}}$

Výpočtový tlak volím $\underline{P_c = P = 0,4 \text{ MPa}}$.

6.4 Výpočet zkušební tlaku

Pro jednodílné tlakové nádoby pro hodnotu zkušební tlaku platí:

$$P_t = \max \left\{ 1,25 \cdot P_d \cdot \frac{f_{test}}{f_s}; 1,43 \cdot P_s \right\} \quad (43)$$

$$P_t = \max \left\{ 1,25 \cdot 0,39 \cdot \frac{252}{137}; 1,43 \cdot 0,35 \right\} = \max \{ 0,805; 0,501 \}$$

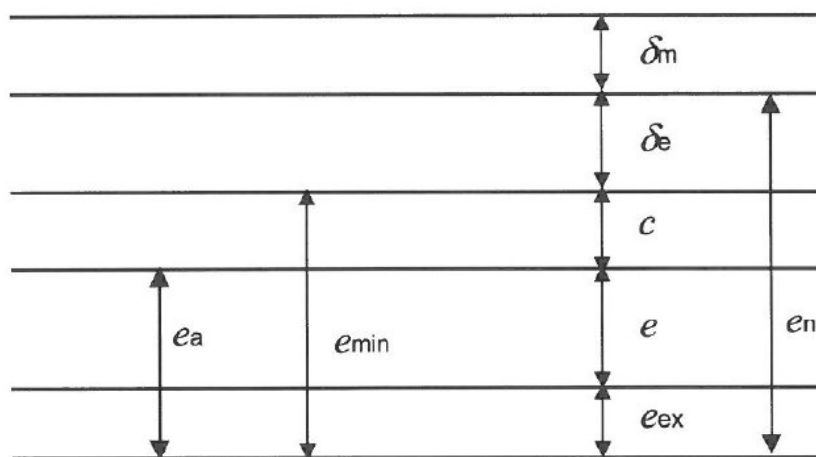
Hodnotu zkušební tlaku určuji $\underline{P_t = 0,805 \text{ MPa}}$

Určení hodnoty součinitele svarového spoje

Svary budou podrobeny namátkovému nedestruktivnímu zkoušení.

Volím hodnotu $\underline{z = 0,8 [-]}$.

6.5 Určení přídaveků k materiálu



Obrázek 7: přídavky k materiálu [4]

K požadované hodnotě tloušťky stěny je nutno přičíst přídavky k materiálu (obr.7)

e	[mm]	požadovaná tloušťka
e_n	[mm]	jmenovitá tloušťka
e_{min}	[mm]	minimální přijatelná výrobní tloušťka
e_a	[mm]	analyzovaná tloušťka
c	[mm]	přídavek na korozi
δ_e	[mm]	absol.možná hodnota záporné tolerance materiálu
δ_m	[mm]	přídavek na možné zeslabení materiálu při výr.procesu
e_{ex}	[mm]	tloušťka pro doplnění na nominální hodnotu

V korozně nejzatíženějším místě odplyňovače je směs vlhkého vzduchu a syté páry.

Volím $c = 2 \text{ mm}$.

Záporná tolerance tloušťky stěny $\delta_e = 0,3 \text{ mm}$.

6.6 Postup pro výpočet pevnosti

6.6.1 Válcová skořepina

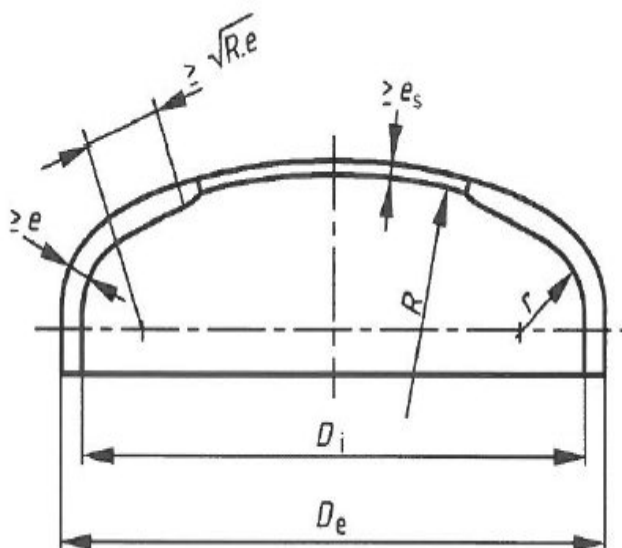
Výpočtový vztah pro požadovanou tloušťku stěny:

$$e = \frac{P_c \cdot D_0}{2 \cdot f_s \cdot z + P_c} [mm] \quad (44)$$

Maximální únosnost pro danou geometrii:

$$P_{max} = \frac{4 \cdot f_s \cdot z \cdot e_{as}}{D_m} [MPa] \quad (45)$$

6.6.2 Torosferické dno



Obrázek 8: torosferické dno[4]

Požadovaná tloušťka stěny e bude největší z tlouštěk e_s , e_y a e_b

$$e_s = \frac{P \cdot R}{2 \cdot f - 0.5 \cdot P} [mm] \quad (46)$$

$$e_y = \frac{\beta \cdot P \cdot (0.75 \cdot R + 0.2 \cdot D_i)}{f} [mm] \quad (47)$$

$$e_b = (0.75 \cdot R + 0.2 \cdot D_i) \cdot \left[\frac{P}{111 \cdot f_b} \cdot \left(\frac{D_i}{r} \right)^{0.825} \right]^{\frac{1}{1.5}} [mm] \quad (48)$$

D_e vnější průměr válcového lemu dna

D_i vnitřní průměr válcového lemu dna

e_b požadovaná tloušťka anuloidového přechodu pro zabránění plastickému boulení

e_s požadovaná tloušťka stěny dna pro omezení membránového napětí ve střední části dna

e_y požadovaná tloušťka stěny anuloidového přechodu pro zabránění axiálně symetrické deformaci

f_b výpočtové napětí pro výpočtový vzorec plastického boulení

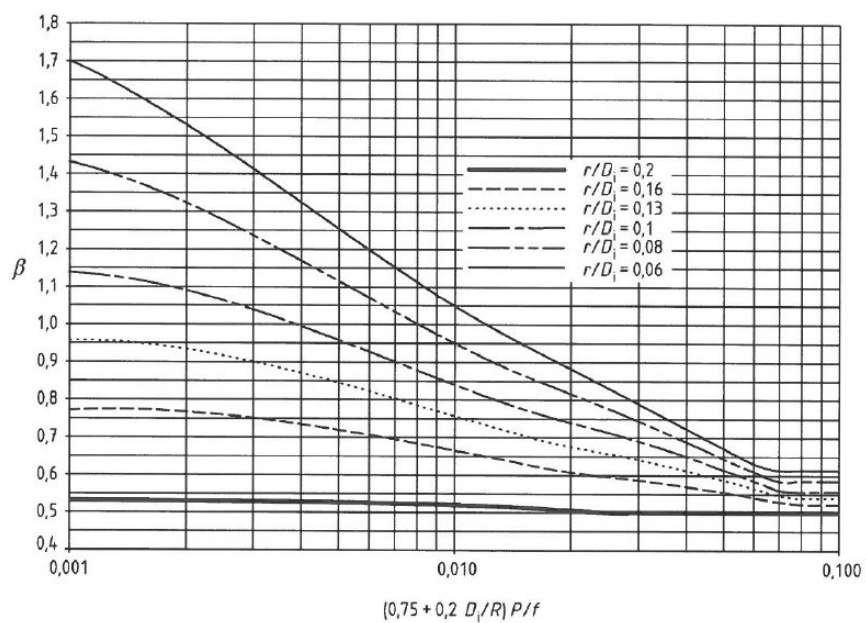
h_i vnitřní výška dna měřená od místa styku válcového lemu a anuloidového přechodu

R vnitřní poloměr kulové střední části torosferického dna

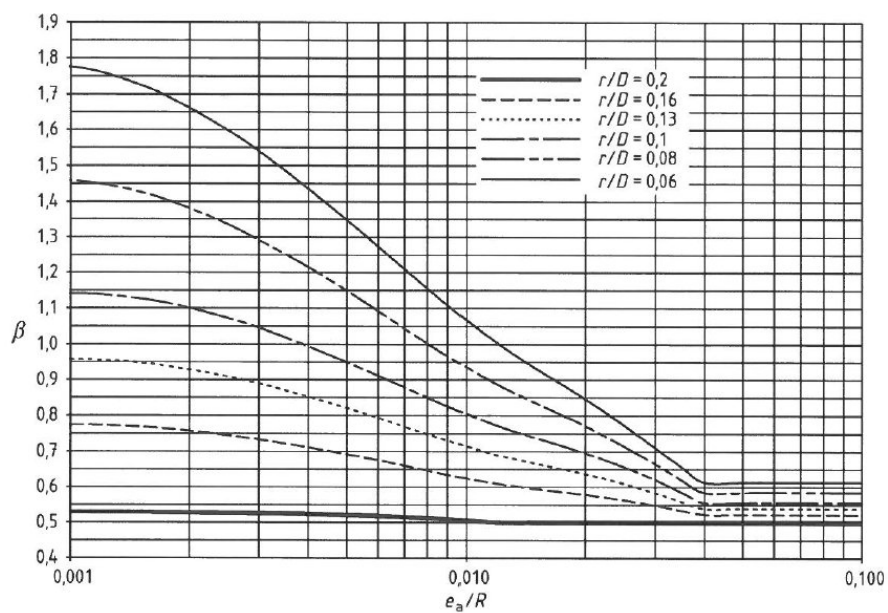
β součinitel odečtený z grafu (obrázek 9 a 10)

$$f_b = \frac{R_{p0,2t}}{1,5} = f_s [MPa] \quad (49)$$

$$h_i = R - \sqrt{\left(R - \frac{D_i}{2}\right) \cdot \left(R + \frac{D_i}{2} - 2 \cdot r\right)} [mm] \quad (50)$$



Obrázek 9: Součinitel β pro návrh[4]



Obrázek 10: Součinitel β pro únosnost [4]

Únosnost P_{max} je dána vztahem:

$$P_{max} = \min \{ P_s ; P_y ; P_b \} \quad (51)$$

$$P_s = \frac{2 \cdot f_b \cdot z \cdot e_a}{R + 0.5 \cdot e_a} [MPa] \quad (52)$$

$$P_y = \frac{f_b \cdot e_a}{\beta \cdot (0.75 \cdot R + 0.2 \cdot D_i)} \quad (53)$$

$$P_b = 111 \cdot f_b \cdot \left(\frac{e_a}{0.75 \cdot R + 0.2 \cdot D_i} \right)^{1.5} \cdot \left(\frac{r}{D_i} \right)^{0.825} [MPa] \quad (54)$$

Podmínky platnosti:

$$r \leq 0,2 \cdot D_i \quad (55.1)$$

$$r \geq 0,06 \cdot D_i \quad (55.2)$$

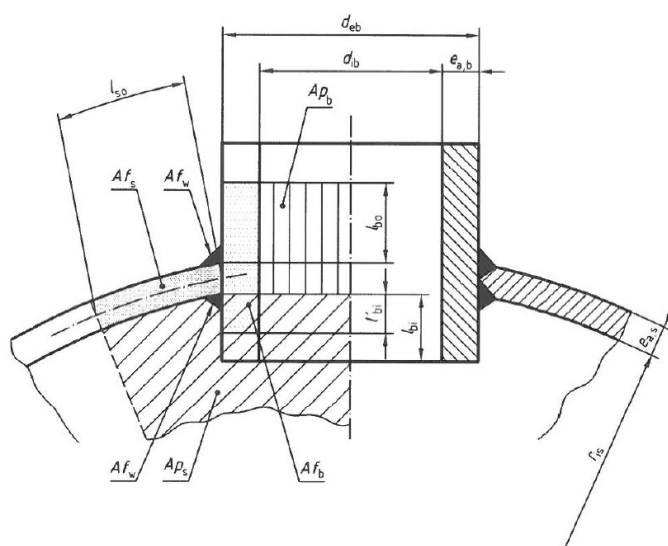
$$r \geq 2 \cdot e \quad (55.3)$$

$$e \leq 0,08 \cdot D_e \quad (55.4)$$

$$R \leq D_e \quad (55.5)$$

$$e \geq 0,001 \cdot D_e \quad (55.6)$$

6.6.3 Výpočet osamocného otvoru vystuženého vsazeným hrdlem



Obrázek 11 :osamocený otvor vystužený hrdlem[4]

d_{ib}	[mm]	vnitřní průměr hrdla
d_{eb}	[mm]	vnější průměr hrdla
r_{is}	[mm]	vnitřní poloměr křivosti skořepiny v místě otvoru
l_b	[mm]	celková délka hrdla
l'_b	[mm]	efektivní vyztužující délka vnější části hrdla skořepiny
l_{bi}	[mm]	vnitřní přesah hrdla
l'_s	[mm]	efektivní vystužující délka skořepiny
l_s	[mm]	délka skořepiny mezi hrdlem a diskontinuitou skořepiny
l_{so}	[mm]	max.vyztužující délka skořepiny
l'_s	[mm]	efektivní vyztužující délka skořepiny
$e_{a,b}$	[mm]	analyzovaná tloušťka stěny hrdla - volím
$e_{a,s}$	[mm]	analyzovaná tloušťka stěny dna
$e_{c,s}$	[mm]	předpokládaná tloušťka stěny
e'_s	[mm]	délka vsazení hrdla do stěny skořepiny, ne však větší než $e_{a,s}$
f_s	[MPa]	nejvyšší dovolené napětí materiálu skořepiny
f_b	[MPa]	nejvyšší dovolené napětí materiálu hrdla
A_f	[mm ²]	nosná plocha příč.průřezu účinná pro vyztužení
A_p	[mm ²]	plocha zatížená tlakem

a [mm] vzdálenost středu otvoru a vnějšího okraje hrdla

indexy: b – hrdlo, s – skořepina, p – límec, w - svar

U otvorů v klenutých dnech vyztužených hrdlem musí být splněna podmínka:

$$\frac{d_{ib}}{D_e} \leq 0.6 \quad (56)$$

$$l_{so} = \sqrt{(2 \cdot r_{is} + e_{c,s}) \cdot e_{c,s}} \quad (57)$$

$$l'_s = \min \{ l_{so}, l_s \} \quad (58)$$

$$l_{bo} = \sqrt{(d_{eb} - e_{a,bl}) \cdot e_{a,bl}} \quad (59)$$

$$l'_{bi} = \min \{ l_{bi}, 0.5 \cdot l_{bo} \} \quad (60)$$

$$l'_b = \min \{ l_{bo}, l_b \} \quad (61)$$

$$a = r_{ms} \cdot \arcsin \delta \quad (62)$$

$$\delta = \frac{d_{eb}}{2 \cdot r_{ms}} [\text{rad}] \quad (63)$$

$$r_{ms} = (r_{is} + 0.5 \cdot e_{a,s}) \quad (64)$$

$$Af_b = e_b \cdot (l'_b + l'_{bi} + e'_s) \quad (65)$$

$$Af_s = (l'_s + e_b) \cdot e_{c,s} \quad (66)$$

$$Af_w = 113 \text{ mm}^2 \quad \text{odečet z výkresu}$$

$$Af_p = 0 \text{ mm}^2$$

$$Ap_b = 0.5 \cdot d_{ib} \cdot (l'_b + e_{a,s}) \quad (67)$$

$$Ap_s = 0.5 \cdot r_{is}^2 \cdot \frac{l'_s + a}{0.5 \cdot e_{a,s} + r_{is}} \quad (68)$$

$$Ap_\varphi = 0$$

Obecný vzorec pro vyztužení osamoceného otvoru:

$$(A_{fs} + A_{fw}) \cdot (f_s - 0.5 \cdot P) + A_{fp} \cdot (f_{op} - 0.5 \cdot P) + A_{fb} \cdot (f_{ob} - 0.5 \cdot P) \geq P \cdot (A_{ps} + A_{pb} + 0.5 \cdot A_{p\varphi}) \quad (69)$$

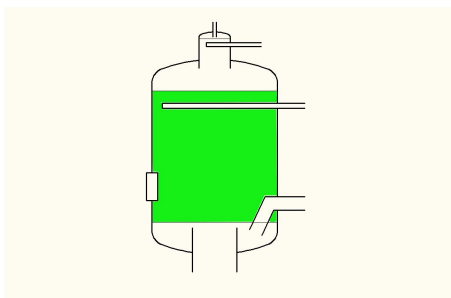
Maximální přípustný tlak P_{max} je v případě, že f_b není větší než f_s určen vztahem

$$P_{max} = \frac{(A_{fs} + A_{fw}) \cdot f_s + A_{fb} \cdot f_{ob} + A_{fp} \cdot f_{op}}{(A_{ps} + A_{pb} + 0.5 \cdot A_{p\varphi}) + 0.5 \cdot (A_{fs} + A_{fw} + A_{fb} + A_{fp})} \quad (70)$$

podmínka: $P_{max} \geq P_t$ (71)

6.7 Výpočet

6.7.1 Válcová skořepina



Obrázek 12 :válcová skořepina

$$D_o = 3250 \text{ mm}$$

Pro požadovanou tloušťku stěny válcové skořepiny z rovnic (41) a (42) platí:

$$e = \frac{0,4 \cdot 3250}{2 \cdot 137 \cdot 0,8 + 0,4} = 6,01 \text{ [mm]}$$

$$e_a = 7 \text{ mm}$$

s přídavky:

$$e_n = 10 \text{ mm}$$

$$D_i = D_o - (2 \cdot e_n) = 3250 - 20 = 3230 \text{ mm}$$

$$D_m = D_o - e_n = 3300 - 10 = 3240 \text{ mm}$$

Únosnost je určena maximálním tlakem P_{max}

pro provoz z rovnice (45):

$$P_{max,p} = \frac{4 \cdot 137 \cdot 0,8 \cdot 7}{3240} = 0,953 \text{ MPa}$$

podmínka $P_{max,p} \geq P_0$:

$$0,953 \geq 0,35 \text{ [MPa]}$$

vyhovuje

pro test:

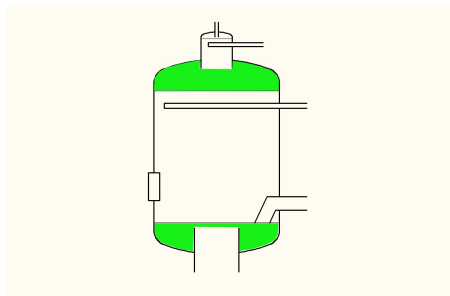
$$P_{max,t} = \frac{4 \cdot 252 \cdot 0,8 \cdot 7}{3240} = 1,74 \text{ MPa}$$

podmínka $P_{max,t} \geq P_t$:

$$1,74 \geq 0,805 \text{ [MPa]}$$

vyhovuje

6.7.2 Torosferické dno



Obrázek 13: torosferické dno

$$R = D_e = 3250 \text{ mm}$$

$$r = 0,1 \cdot D_e = 325 \text{ mm}$$

$$f_b = f_s = 137 \text{ MPa}$$

Pro požadovanou tloušťku stěny torosferického dna z rovnic (46) - (50) platí:

$$e_s = \frac{0,4 \cdot 3250}{2 \cdot 137 - 0,5 \cdot 0,4} = 4,75 \text{ mm}$$

$$e_y = \frac{0,88 \cdot 0,4 \cdot (0,75 \cdot 3250 + 0,2 \cdot 3238)}{137} = 7,93 \text{ mm}$$

$$e_b = (0,75 \cdot 3250 + 0,2 \cdot 3238) \cdot \left[\frac{0,4}{111 \cdot 137} \cdot \left(\frac{3238}{325} \right)^{0,825} \right]^{\frac{1}{1,5}} = 9,68 \text{ mm}$$

$$e_a = 10 \text{ mm}$$

Přidavky k materiálu:

$$e_n = 12 \text{ mm}$$

Únosnost P_{max} z rovnic (51) - (54):

pro provoz:

$$P_{max} = \min \{ P_s ; P_y ; P_b \}$$

$$P_s = \frac{2 \cdot 137 \cdot 0,8 \cdot 10}{3250 + 0,5 \cdot 10} = 0,673 \text{ MPa}$$

$$P_y = \frac{137 \cdot 10}{1,05 \cdot (0,75 \cdot 3250 + 0,2 \cdot 3238)} = 0,423 \text{ MPa}$$

$$P_b = 111 \cdot 137 \cdot \left(\frac{10}{0,75 \cdot 3300 + 0,2 \cdot 3280} \right)^{1,5} \cdot \left(\frac{330}{3280} \right)^{0,825} = 0,424 \text{ MPa}$$

$$P_{max} = P_y = 0,423 \text{ MPa}$$

$$P_{max,p} \geq P_c$$

$$0,423 \geq 0,4 \text{ [MPa]}$$

vyhovuje

pro test:

$$P_{max,t} = \min \{ P_s ; P_y ; P_b \}$$

$$P_{s,t} = \frac{2 \cdot 252 \cdot 0,8 \cdot 10}{3250 + 0,5 \cdot 10} = 1,24 \text{ MPa}$$

$$P_{y,t} = \frac{252 \cdot 10}{0,85 \cdot (0,75 \cdot 3250 + 0,2 \cdot 3238)} = 0,961 \text{ MPa}$$

$$P_{b,t} = 111 \cdot 252 \cdot \left(\frac{10}{0,75 \cdot 3300 + 0,2 \cdot 3280} \right)^{1,5} \cdot \left(\frac{330}{3280} \right)^{0,825} = 0,781 \text{ MPa}$$

podmínka $P_{max,t} \geq P_t$:

$$0,781 \leq 0,805 [\text{MPa}]$$

nevyhovuje

Zvětšuji tloušťku tloušťku materiálu o 1 mm na $e_a = 11$ mm a opakuji výpočet pro test:

$$P_{max,t} = \min \{ P_s; P_y; P_b \}$$

$$P_{s,t} = \frac{2 \cdot 252 \cdot 0,8 \cdot 11}{3250 + 0,5 \cdot 11} = 1,36 \text{ MPa}$$

$$P_{y,t} = \frac{252 \cdot 11}{0,85 \cdot (0,75 \cdot 3250 + 0,2 \cdot 3238)} = 1,02 \text{ MPa}$$

$$P_{b,t} = 111 \cdot 137 \cdot \left(\frac{11}{0,75 \cdot 3300 + 0,2 \cdot 3280} \right)^{1,5} \cdot \left(\frac{330}{3280} \right)^{0,825} = 0,901 \text{ MPa}$$

$$P_{max,t} = P_{b,t} = 0,901 \text{ MPa}$$

podmínka $P_{max,t} \leq P_t$:

$$0,802 \leq 0,901 [\text{MPa}]$$

vyhovuje

Upravuji:

$$\underline{e_n = 13 \text{ mm}}$$

Podmínky platnosti (55.1) - (55.6):

$$325 \leq 654$$

vyhovuje

$$325 \geq 194$$

vyhovuje

$$325 \geq 12$$

vyhovuje

$$10 \leq 260$$

vyhovuje

$$R \leq D_e$$

vyhovuje

$$10 \geq 3,3$$

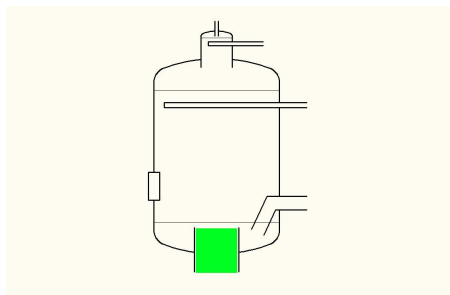
vyhovuje

Výška dna:

$$h_i = 3250 - \sqrt{\left(3250 - \frac{3238}{2}\right) \cdot \left(3250 + \frac{3238}{2} - 2 \cdot 325\right)}$$

$$h_i = 627 \text{ mm}$$

6.7.3 Přepadové hrdlo



Obrázek14 : přepadové hrdlo

$$D_o = 3250 \text{ mm}$$

$$d_{ibI} = 800 \text{ mm, délka } l_{bI} = 350 \text{ mm } l_{biI} = 150 \text{ mm}$$

Pro výpočet osamoceného otvoru vyztuženého vsazeným hrdlem z rovnic (56) - (68) platí:

$$d_{ib} = c_D \cdot d_{ibI} = 1,25 \cdot 800 = 1000 \text{ mm}$$

$$l_b = c_D \cdot l_{bI} = 1,25 \cdot 350 = 438 \text{ mm}$$

$$l_{bi} = c_D \cdot l_{biI} = 1,25 \cdot 150 = 188 \text{ mm}$$

$$r_{is} = R = 3250 \text{ mm}$$

$$e_{a,bl} = 13 \text{ mm}$$

$$d_{eb} = d_{ib} + 2 \cdot e_{a,bl} = 1026 \text{ mm}$$

$$e_{a,s} = 11 \text{ mm}$$

$$f_s = f_b = 137 \text{ MPa}$$

U otvorů ve válcových plochách vyztužených hrdlem musí být splněna podmínka:

$$\frac{d_{ib}}{D_e} \leq 0.6 \quad \text{vyhovuje}$$

$$\frac{1000}{3250} = 0,307 \leq 0,6 \quad \text{vyhovuje}$$

$$l_{so} = \sqrt{(2 \cdot r_{is} + e_{c,s}) \cdot e_{c,s}} = \sqrt{(2 \cdot 1650 + 11) \cdot 11} = 191 \text{ mm}$$

$$r_{is} = D_e / 2 = 1650 \text{ mm} \quad , \quad e_{c,s} = e_{a,s}$$

$$l'_s = \min \{ l_{so}, l_s \} = l_{so} = 191 \text{ mm} \quad l_{so} \gg l_s;$$

$$l_{bo} = \sqrt{(d_{eb} - e_{a,bl}) \cdot e_{a,bl}} = \sqrt{(1026 - 13) \cdot 13} = 115 \text{ mm}$$

$$l'_{bi} = \min \{ l_{bi}, 0,5 \cdot l_{bo} \} = 57,4 \text{ mm}$$

$$Af_b = e_b \cdot (l'_b + l'_{bi} + e'_s) = 13 \cdot (115 + 57,4 + 11) = 2349 \text{ mm}^2$$

$$Af_s = (l'_s + e_b) \cdot e_{c,s} = (163 + 13) \cdot 11 = 1936 \text{ mm}^2$$

$$l'_b = \min \{ l_{bo}, l_b \} = 115 \text{ mm}$$

$$a = r_{ms} \cdot \arcsin \delta = 3257 \cdot 0,158 = 515 \text{ mm}$$

$$\delta = \frac{d_{e,b}}{2 \cdot r_{ms}} = \frac{1026}{2 \cdot 3257} = 0,158 \text{ rad}$$

$$r_{ms} = (r_{is} + 0,5 \cdot e_{a,s}) = (3250 + 0,5 \cdot 11) = 3257 \text{ mm}$$

$$Af_w = 113 \text{ mm}^2$$

$$Af_p = 0$$

$$Ap_b = 0.5 \cdot d_{ib} \cdot (l'_b + e_{a,s}) = 0.5 \cdot 1000 \cdot (115 + 11) = 63000 \text{ mm}^2$$

$$Ap_s = 0.5 \cdot r_{is}^2 \cdot \frac{l'_s + a}{0.5 \cdot e_{a,s} + r_{is}} = 0.5 \cdot 3250^2 \cdot \frac{191 + 515}{0.5 \cdot 11 + 3250} = 1145311 \text{ mm}^2$$

$$Ap_\varphi = 0$$

$$f_{ob} = f_{op} = 137 \text{ MPa}$$

Pro vyztužení osamoceního otvoru platí obecný vztah (rovnice 69):

$$(1936 + 113) \cdot (137 - 0.5 \cdot 0.4) + 2349 \cdot (137 - 0.5 \cdot 0.4) \geq 0.4 \cdot (1145311 + 63000)$$

$$601646 \text{ N} \geq 483324 \text{ N}$$

vyhovuje

Pro maximální přípustný tlak P_{max} platí rovnice (70):

pro provoz:

$$P_{max,p} = \frac{(1936 + 113) \cdot 137 + 2349 \cdot 137}{(1145311 + 63000) + 0.5 \cdot (1936 + 113 + 2349)} = 0.498 \text{ MPa}$$

$$P_{max,p} \geq P_t :$$

$$0.498 \geq 0.35 [\text{MPa}]$$

vyhovuje

pro test:

$$P_{max,p} = \frac{(1936 + 113) \cdot 252 + 2349 \cdot 252}{(1145311 + 63000) + 0.5 \cdot (1936 + 113 + 2349)} = 0.915 \text{ MPa}$$

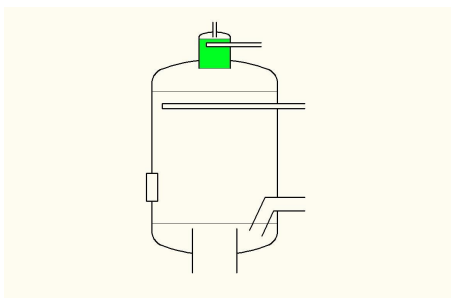
podmínka:

$$P_{max,t} \geq P_t :$$

$$0.915 \geq 0.805 [\text{MPa}]$$

vyhovuje

6.7.4 Válcová skořepina



Obrázek 15: válcová skořepina

Pro požadovanou tloušťku stěny válcové skořepiny z rovnic (41) a (42) platí:

$$e = \frac{0,4 \cdot 750}{2 \cdot 137 \cdot 0,8 + 0,4} = 1,37 \text{ mm}$$

$$\underline{e_a = 2 \text{ mm}}$$

Přídavky k materiálu:

$$\underline{e_n = 4 \text{ mm}}$$

Únosnost je určena maximálním tlakem P_{max}

$$D_i = D_o - 2 \cdot e_n = 750 - 2 \cdot 4 = 742 \text{ mm}$$

$$D_m = \frac{D_o + D_i}{2} = 746 \text{ mm}$$

pro provoz:

$$P_{max, p} = \frac{4 \cdot 137 \cdot 0,8 \cdot 2}{746} = 1,18 \text{ MPa}$$

podmínka $P_{max, p} \geq P_0$:

$$1,18 \geq 0,35 [\text{MPa}]$$

vyhovuje

pro test:

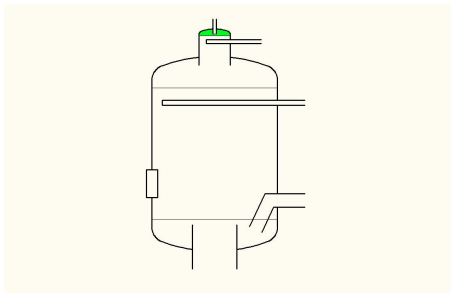
$$P_{max, t} = \frac{4 \cdot 252 \cdot 0,8 \cdot 2}{746} = 2,16 \text{ MPa}$$

podmínka $P_{max,t} \geq P_t$:

$$2,16 \geq 0,805 [MPa]$$

vyhovuje

6.7.5 Horního dno



Obrázek 16: horní dno

$$R = D_e = 750 \text{ mm}$$

$$r = 0,1 \cdot D_e = 75 \text{ mm}$$

$$f_b = f_s = 137 \text{ MPa}$$

Odhad pro výpočet $e_c = 5 \text{ mm}$

Pro požadovanou tloušťku stěny torosferického dna z rovnic (46) - (50) platí:

$$D_i = D_e - (2 \cdot e_c) = 750 - (2 \cdot 5) = 740 \text{ mm}$$

$$e_s = \frac{0,4 \cdot 750}{2 \cdot 137 - 0,5 \cdot 0,4} = 1,09 \text{ mm}$$

$$e_y = \frac{1,04 \cdot 0,4 \cdot (0,75 \cdot 750 + 0,2 \cdot 740)}{137} = 2,16 \text{ mm}$$

$$e_b = (0,75 \cdot 750 + 0,2 \cdot 740) \cdot \left[\frac{0,4}{111 \cdot 137} \cdot \left(\frac{740}{75} \right)^{0,825} \right]^{\frac{1}{1,5}} = 2,21 \text{ mm}$$

$$\underline{e_d = 3 \text{ mm}}$$

Přidavky k materiálu:

$$\underline{e_n = 5 \text{ mm}}$$

$$\underline{D_i = 740 \text{ mm}}$$

Únosnost P_{max} z rovnic (51) - (54):

pro provoz:

$$P_{max} = \min \{ P_s; P_y; P_b \}$$

$$P_s = \frac{2 \cdot 137 \cdot 0,8 \cdot 3}{750 + 0,5 \cdot 3} = 0,875 \text{ MPa}$$

$$P_y = \frac{137 \cdot 3}{1,05 \cdot (0,75 \cdot 750 + 0,2 \cdot 744)} = 0,817 \text{ MPa}$$

$$P_b = 111 \cdot 137 \cdot \left(\frac{3}{0,75 \cdot 750 + 0,2 \cdot 744} \right)^{1,5} \cdot \left(\frac{75}{744} \right)^{0,825} = 0,627 \text{ MPa}$$

$$P_{max, p} = P_b = 0,627 \text{ MPa}$$

podmínka $P_{max, p} \geq P_c$:

$$0,627 \geq 0,4 [\text{MPa}]$$

vyhovuje

pro test:

$$P_{max, t} = \min \{ P_s; P_y; P_b \}$$

$$P_{s, t} = \frac{2 \cdot 252 \cdot 0,8 \cdot 3}{750 + 0,5 \cdot 3} = 1,61 \text{ MPa}$$

$$P_{y, t} = \frac{252 \cdot 3}{0,85 \cdot (0,75 \cdot 750 + 0,2 \cdot 744)} = 1,25 \text{ MPa}$$

$$P_{b, t} = 111 \cdot 252 \cdot \left(\frac{3}{0,75 \cdot 750 + 0,2 \cdot 744} \right)^{1,5} \cdot \left(\frac{75}{744} \right)^{0,825} = 1,15 \text{ MPa}$$

$$P_{max, p} = P_{b, t} = 1,15 \text{ MPa}$$

podmínka $P_{max, t} \geq P_t$:

$$1,15 \geq 0,802 [\text{MPa}]$$

vyhovuje

Podmínky platnosti, rovnice (55.1) - (55.6):

$$75 \leq 149$$

vyhovuje

$$325 \geq 45$$

vyhovuje

$$325 \geq 6$$

vyhovuje

$$10 \leq 60$$

vyhovuje

$$750 \leq 750$$

vyhovuje

$$3 \geq 0,75$$

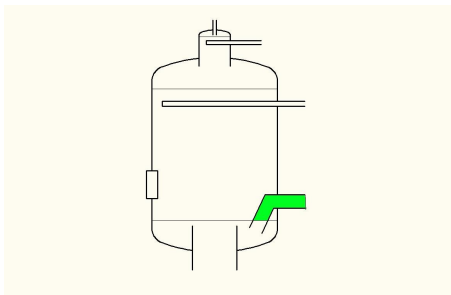
vyhovuje

Výška dna:

$$h_i = 750 - \sqrt{\left(750 - \frac{740}{2}\right) \cdot \left(750 + \frac{740}{2} - 2 \cdot 75\right)} = 139 \text{ mm}$$

$$\underline{h_i = 139 \text{ mm}}$$

6.7.6 Parní hrdlo



Obrázek 17: Parní hrdlo

Modelový průměr:

$$d_{eb} = 350 \text{ mm}$$

$$\text{délka } l_b = 350 \text{ mm}; l_{bi} = 150 \text{ mm}$$

Pro výpočet osamoceného otvoru vyztuženého vsazeným hrdlem z rovnic (56) - (68) platí:

$$d_{eb} = 350 \text{ mm}$$

$$l_b = c_D \cdot l_{bp} = 1,25 \cdot 350 = 438 \text{ mm}$$

$$l_{bi} = c_D \cdot l_{bi2} = 1,25 \cdot 100 = 180 \text{ mm}$$

$$e_{a,b} = 6 \text{ mm}$$

$$d_{ib} = d_{eb} - 2 \cdot e_{a,b} = 338 \text{ mm}$$

$$e_{a,s} = 7 \text{ mm}$$

$$f_s = f_b = 137 \text{ MPa}$$

$$e_{c,s} = e_{a,s} = 7 \text{ mm}$$

$$r_{is} = D_e = 3250 \text{ mm}$$

U otvorů ve válcových plochách vyztužených hrdlem musí být splněna podmínka:

$$\frac{d_{ib}}{D_e} \leq 0,6$$

$$\frac{350}{3250} = 0,108 \leq 0,6$$

vyhovuje

$$l_{so} = \sqrt{(2 \cdot 3250 + 7) \cdot 7} = 213 \text{ mm}$$

$$l_s = 1,25 \cdot 2450 = 312 \text{ mm}$$

$$l'_s = \min \{ l_{so}, l_s \} = 213 \text{ mm}$$

$$l_{bo} = \sqrt{(350 - 6) \cdot 6} = 45,4 \text{ mm}$$

$$l'_{bi} = \min \{ l_{bo}, l_b \} = 45,4 \text{ mm}$$

$$e'_s = \min \{ e_{c,s}, e'_{a,s} \} = 7 \text{ mm}$$

$$f_{ob} = f_{op} = 137 \text{ MPa}$$

$$a = 3256 \cdot 0,116 = 175 \text{ mm}$$

$$\delta = \frac{338}{2 \cdot 3257} = 0,0538 \text{ rad}$$

$$r_{ms} = (3250 + 0,5 \cdot 7) = 3253 \text{ mm}$$

Pro vsazená hrdla:

$$Af_b = 6 \cdot (45,4 + 150 + 7) = 451 \text{ mm}^2$$

$$Af_s = (l'_s + e_b) \cdot e_{c,s} = (312 + 6) \cdot 7 = 1536 \text{ mm}^2$$

$$Af_w = 113 \text{ mm}^2$$

$$Af_p = 0$$

$$Ap_b = 0,5 \cdot 338 \cdot (45,4 + 7) = 8861 \text{ mm}^2$$

$$Ap_s = 0,5 \cdot 3250^2 \cdot \frac{213 + 175}{0,5 \cdot 7 + 3250} = 357953 \text{ mm}^2$$

$$Ap_\varphi = 0$$

Pro vyztužení osamoceného otvoru platí obecný vztah (rovnice 69):

$$(1536 + 113) \cdot (137 - 0,5 \cdot 0,4) + 451 \cdot (137 - 0,5 \cdot 0,4) \geq 0,4 \cdot (357953 + 8861)$$

$$287257 \text{ N} \geq 146725 \text{ N}$$

vyhovuje

Únosnost

Pro maximální přípustný tlak P_{max} platí rovnice (70):

pro provoz:

$$P_{max,p} = \frac{(1536 + 113) \cdot 137 + 451 \cdot 137}{(357953 + 8861) + 0,5 \cdot (1536 + 113 + 451)} = 0,694 \text{ MPa}$$

podmínka $P_{max,p} \geq P_t$:

$$0,694 \geq 0,35 [\text{MPa}]$$

vyhovuje

pro test:

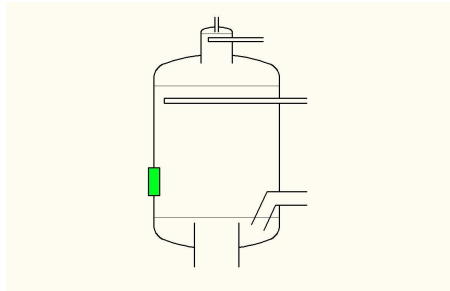
$$P_{max,t} = \frac{(1536+113) \cdot 252 + 451 \cdot 252}{(357953+8861) + 0.5 \cdot (1536+113+451)} = 1,28 \text{ MPa}$$

podmínka $P_{max,t} \geq P_t$:

$$1,28 \geq 0,805 [MPa]$$

vyhovuje

6.7.7 Revizní průřez



Obrázek 18: revizní průřez

Pro požadovanou tloušťku stěny válcové skořepiny z rovnic (41) a (42) platí:

$$D_e = 600 \text{ mm}$$

$$e = \frac{0,4 \cdot 600}{2 \cdot 137 \cdot 0,8 + 0,4} = 1,09 \text{ mm}$$

$$\underline{e_a = 2 \text{ mm}}$$

Přídavky k materiálu:

$$\underline{e_n = 4 \text{ mm}}$$

Únosnost je určena maximálním tlakem P_{max} :

$$D_i = D_e - 2 \cdot e_n = 600 - 2 \cdot 4 = 592 \text{ mm}$$

$$D_m = \frac{D_e + D_i}{2} = 596 \text{ mm}$$

pro provoz:

$$P_{max,p} = \frac{4 \cdot 137 \cdot 0,8 \cdot 2}{746} = 1,18 \text{ MPa}$$

podmínka $P_{max,p} \geq P_0$:

$$1,18 \geq 0,35 [\text{MPa}]$$

vyhovuje

pro test:

$$P_{max,t} = \frac{4 \cdot 252 \cdot 0,8 \cdot 2}{746} = 2,16 \text{ MPa}$$

podmínka $P_{max,t} \geq P_t$:

$$2,16 \geq 0,805 [\text{MPa}]$$

vyhovuje

6.7.8 Hrdlo revizního průlezu

$$d_{eb} = 600 \text{ mm}$$

Pro výpočet osamoceného otvoru vystuženého vsazeným hrdlem z rovnic (56) - (68) platí:

$$l_b = 300 \text{ mm}$$

$$l_{bi} = 100 \text{ mm}$$

$$e_{a,b} = 2 \text{ mm}$$

$$d_{ib} = D_i = 592 \text{ mm}$$

$$e_{a,s} = 9 \text{ mm}$$

$$f_s = f_b = 137 \text{ MPa}$$

$$e_{c,s} = e_{a,s} = 2 \text{ mm}$$

$$r_{is} = 0,5 \cdot D_e = 1625 \text{ mm}$$

U otvorů ve válcových plochách vyztužených hrdlem musí být splněna podmínka:

$$\frac{d_{ib}}{D_e} \leq 0.6$$

$$\frac{60}{3250} = 0,185 \leq 0,6$$

vyhovuje

$$l_{so} = \sqrt{(2 \cdot 1625 + 2) \cdot 2} = 213 \text{ mm}$$

$$l_s = 1,27 \cdot 150 = 191 \text{ mm}$$

$$l'_s = \min \{213, 191\} = 191 \text{ mm}$$

$$l_{bo} = \sqrt{(600 - 2) \cdot 2} = 34,5 \text{ mm}$$

$$l'_{bi} = \min \{100; 0,5 \cdot 17,23\} = 17,2 \text{ mm}$$

$$l_b = \min \{34,5; 300\} = 34,5 \text{ mm}$$

$$a = 1631 \cdot \arcsin 0,183 = 299,7 \text{ mm}$$

$$\delta = \frac{600}{2 \cdot 1631} = 0,183 \text{ rad}$$

$$r_{ms} = (1625 + 0,5 \cdot 9) = 1631 \text{ mm}$$

$$Af_b = 2 \cdot (34,5 + 17,2 + 9) = 125 \text{ mm}^2$$

$$Af_s = (191 + 2) \cdot 9 = 2105 \text{ mm}^2$$

$$Af_w = 113 \text{ mm}^2$$

$$Af_p = 0 \text{ mm}^2$$

$$Ap_b = 0,5 \cdot 592 \cdot (34,5 + 9) = 13458 \text{ mm}^2$$

$$Ap_s = 0,5 \cdot 1625 \cdot \frac{191 + 399,7}{0,5 \cdot 9 + 1625} = 270582 \text{ mm}^2$$

$$Ap_\varphi = 0$$

Pro vyztužení osamoceného otvoru platí obecný vztah (rovnice 69):

$$(2105+113) \cdot (137-0.5 \cdot 0,4) + 125 \cdot (137-0.5 \cdot 0,4) \geq 0,4 \cdot (270580+13458)$$

$$320627 \geq 113616$$

vyhovuje

Pro maximální přípustný tlak P_{max} platí rovnice (70):

pro provoz:

$$P_{max,p} = \frac{(2105+137) \cdot 137 + 125 \cdot 137}{(270582+13458) + 0.5 \cdot (2105+113+125)}$$

podmínka: $P_{max,p} \geq P_t$

$$1,13 \geq 0,35 [MPa]$$

vyhovuje

pro test:

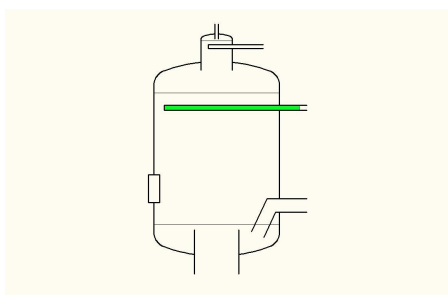
$$P_{max,t} = \frac{(2105+137) \cdot 252 + 125 \cdot 252}{(270582+13458) + 0.5 \cdot (2105+113+125)}$$

podmínka: $P_{max,t} \geq P_t$

$$20,7 \geq 0,805 [MPa]$$

vyhovuje

6.7.9 Rozprašovací hlava



Obrázek 19 : rozprašovací hlava

$$D_e = 750 \text{ mm}$$

$$d_{eb} = 200 \text{ mm}$$

$$l_b = 1,27 \cdot 2434 = 3091 \text{ mm}$$

$$l_{bi}=100\text{mm}$$

$$e_{a,b}=6\text{mm}$$

$$d_{ib}=200-2\cdot 6=188\text{mm}$$

$$e_{a,s}=7\text{mm}$$

$$f_s=f_b=137\text{ MPa}$$

$$e_{c,s}=e_{a,s}=7\text{mm}$$

$$r_{is}=0,5\cdot 3250=1625\text{mm}$$

Pro výpočet osamoceného otvoru vyztuženého vsazeným hrdlem z rovnic (56) - (68) platí:

$$0,251 \leq 0.6$$

vyhovuje

$$l_{so}=\sqrt{(7\cdot 1625+7)\cdot 7}=151\text{mm}$$

$$l_s=1,27\cdot 120=152\text{mm}$$

$$l'_s=\min \{ 151 ; 152 \}=151\text{mm}$$

$$l_{bo}=\sqrt{(200-6)\cdot 6}=34,1\text{ mm}$$

$$l'_{bi}=1\min \{ 100 ; 0,5\cdot 17,1 \}=17,1\text{ mm}$$

$$l'_b=\min \{ l_{bo} ; l_b \}=34,1\text{ mm}$$

$$a=376\cdot \arcsin 0,0614=101\text{mm}$$

$$\delta=\frac{200}{2\cdot 1625}=0,0614\text{ rad}$$

$$r_{ms}=(1625+0,5\cdot 2)=1629\text{mm}$$

$$Af_b=6\cdot (34,1+17,1+7)=349\text{mm}^2$$

$$Af_s=(38,8+6)\cdot 7=1099\text{mm}^2$$

$$Af_w = 113 \text{ mm}^2$$

$$Af_p = 0 \text{ mm}^2$$

$$Ap_b = 0.5 \cdot 188 \cdot (34,1 + 7) = 3865 \text{ mm}^2$$

$$Ap_s = 0.5 \cdot 1625^2 \cdot \frac{38,8 + 101}{0.5 \cdot 7 + 1625} = 108787 \text{ mm}^2$$

$$Ap_\varphi = 0$$

Pro vyztužení osamoceného otvoru platí obecný vztah (rovnice 69):

$$(1099 + 113) \cdot (137 - 0.5 \cdot 0.4) + 349 \cdot (137 - 0.5 \cdot 0.4) \geq 0.4 \cdot (108787 + 3865)$$

$$213546 \geq 45061 \text{ [MPa]} \quad \text{vyhovuje}$$

Pro maximální přípustný tlak P_{max} platí rovnice (70):

$$P_{max,p} = \frac{(1099 + 113) \cdot 137 + 349 \cdot 137}{(108787 + 3865) + 0.5 \cdot (1099 + 113 + 349)} = 1,89 \text{ MPa}$$

podmínka: $P_{max} \geq P_t$

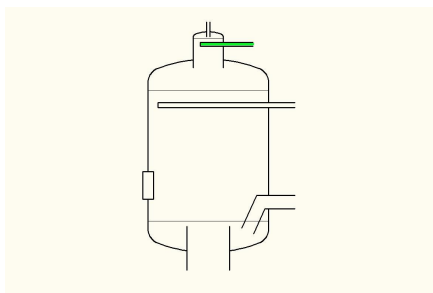
$$1,89 \geq 0,35 \text{ [MPa]} \quad \text{vyhovuje}$$

$$P_{max,t} = \frac{(1099 + 113) \cdot 252 + 349 \cdot 252}{(108787 + 3865) + 0.5 \cdot (1099 + 113 + 349)} = 3,47 \text{ MPa}$$

podmínka: $P_{max} \geq P_t$

$$3,47 \geq 0,805 \text{ [MPa]} \quad \text{vyhovuje}$$

6.7.10 Sprcha



Obrázek 20 : Sprcha

$$D_e = 750 \text{ mm}$$

$$d_{eb} = 65 \text{ mm}$$

$$l_b = 1,27 \cdot 800 = 1016 \text{ mm}$$

$$l_{bi} = 1,27 \cdot 550 = 698 \text{ mm}$$

$$e_{a,b} = 6 \text{ mm}$$

$$d_{ib} = 65 - 2 \cdot 6 = 53 \text{ mm}$$

$$e_{a,s} = 2 \text{ mm}$$

$$f_s = f_b = 137 \text{ MPa}$$

$$e_{c,s} = e_{a,s} = 2 \text{ mm}$$

$$r_{is} = 0,5 \cdot 750 = 375 \text{ mm}$$

Pro výpočet osamoceného otvoru vyztuženého vsazeným hrdlem z rovnic (56) - (68) platí:

podmínka:

$$\frac{53}{750} = 0,0707 \leq 0,6$$

vyhovuje

$$l_{so} = \sqrt{(2 \cdot 375 + 2) \cdot 2} = 38,8 \text{ mm}$$

$$l_s = 1,27 \cdot 70 = 88,9 \text{ mm}$$

$$l'_s = \min \{ 38,8 ; 88,9 \} = 38,8 \text{ mm}$$

$$l_{bo} = \sqrt{(65-6) \cdot 6} = 18,8 \text{ mm}$$

$$l'_{bi} = \min \{ 100 ; 0,5 \cdot 18,8 \} = 9,41 \text{ mm}$$

$$l'_b = \min \{ l_{bo} ; l_b \} = 18,8 \text{ mm}$$

$$a = 376 \cdot \arcsin 0,0864 = 32,5 \text{ mm}$$

$$\delta = \frac{65}{2 \cdot 376} = 0,0864 \text{ rad}$$

$$r_{ms} = (375 + 0,5 \cdot 2) = 376 \text{ mm}$$

$$Af_b = 6 \cdot (18,8 + 9,41 + 2) = 181 \text{ mm}^2$$

$$Af_s = (38,8 + 6) \cdot 2 = 89,6 \text{ mm}^2$$

$$Af_w = 113 \text{ mm}^2$$

$$Af_p = 0 \text{ mm}^2$$

$$Ap_b = 0,5 \cdot 53 \cdot (18,8 + 2) = 552 \text{ mm}^2$$

$$Ap_s = 0,5 \cdot 375^2 \cdot \frac{18,8 + 32,5}{0,5 \cdot 2 + 375} = 9603 \text{ mm}^2$$

$$Ap_\varphi = 0$$

Pro vyztužení osamoceního otvoru platí obecný vztah (rovnice 69):

$$(89,6 + 113) \cdot (137 - 0,5 \cdot 0,4) + 181 \cdot (137 - 0,5 \cdot 0,4) \geq 0,4 \cdot (9603 + 552)$$

$$52517 \geq 4062 [MPa]$$

vyhovuje

Pro maximální přípustný tlak P_{max} platí rovnice (70):

$$P_{max,p} = \frac{(89,6+113) \cdot 137 + 181 \cdot 137}{(9603+552) + 0.5 \cdot (89,6+113+181)} = 5,08 \text{ MPa}$$

podmínka: $P_{max} \geq P_t$

$$5,08 \geq 0,35 [MPa]$$

vyhovuje

$$P_{max,t} = \frac{(89,6+113) \cdot 252 + 181 \cdot 252}{(9603+552) + 0.5 \cdot (89,6+113+181)} = 9,35 \text{ MPa}$$

podmínka: $P_{max} \geq P_t$

$$9,35 \geq 0,805 [MPa]$$

vyhovuje

7. Závěr

V úvodu práce jsem popsal důvody pro legislativní požadavky kladené na kvalitu napájecí vody pro vysokotlaké parní kotle. Popsal jsem obecně platné technologické postupy při jejím zpracování nutné pro dosažení požadovaných parametrů od surové až po vysoce jakostní demineralizovanou vodu.

Popsal jsem odlišnosti při jejím zpracování na zmodernizované demilince závodu pro zpracování buničiny v Biocelu Paskov a.s. a poukázal na další nedávné změny v technologii zpracování dřeva, které významným způsobem dopadly i na provoz energetických zařízení závodu. Ukázal jsem disproporci mezi stávajícími kapacitami odplyňovačů napájecí vody a současnou spotřebou. Detailně jsem popsal funkci odplyňovačů, princip a fyzikální podstatu odplynění včetně možnosti jeho měření a regulace.

Ve výpočtové části jsem provedl důkladnou tepelně energetickou analýzu odplyňovače a určil jsem na základě vstupních hodnot výkon navrhovaného odplyňovače C003 včetně všech potřebných parametrů.

Porovnal jsem metody pro výpočet teplosměnných ploch a vybral jsem pro návrh C003 jako nejvhodnější metodu fyzikálního modelu.

Výše uvedenou metodou jsem určil základní parametry pro návrh C003 a z těch určil konstantu podobnosti pro model a dílo. Na podkladě konstanty podobnosti jsem vytvořil návrh nového odplyňovače a jeho dispoziční řešení.

Nad rozměry, které byly ponechány v původních rozměrech nebo byla modifikována odlišně od pracovní metody jsem zdůvodnil odchýlení metody a určil nový návrh.

V závěrečné části jsem určil nutné hodnoty a na základě dispozičního řešení provedl pevnostní výpočty pro jednotlivé části C003.

Konstatuji, že návrh nového odplyňovače odpovídá předem zadaným požadavkům a cíle práce jsem splnil.

8. Seznam použité literatury

[1] KADLEC, Zdeněk. *Průvodce sdílením tepla pro požární specialisty*. 1. vyd. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2009, 100 s. Spektrum (Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství). ISBN 978-80-7385-061-6.

[2] KADRNOŽKA, Jaroslav. *Teplárenství*. Brno: CERM, 2001, 178 s. ISBN 80-720-4222-X.

[3] ČSN 07 7403. *Voda a para pre tepelné energetické zariadenia s pracovným tlakom 8 MPa a vyšším*. Praha: Vydavatelství ÚNM, 1982.

[4] ČSN EN 13445-3 (695245) *Netopené tlakové nádoby - Část 3: Konstrukce a výpočet*. Praha: Vydavatelství ÚNMZ, 2010

Internetové zdroje

[5] HAUSBRAND, E. *Evaporating, condensing and cooling apparatus: explanations, formulae, and tables for use in practice*. Wright, A. C. London: Scott, Greenwood and Co., 1903. Dostupné z: <https://archive.org/details/evaporatingcond00hausgoog>

[6] ROLF SANDER. *Home page: Henry's Law Constants* [online]. 2012 [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://www.rolf-sander.net/>

[7] Pressurised Deaerators : International site for Spirax Sarco. [online]. [cit. 2014-05-14]. Dostupné z: <http://www.spiraxsarco.com/resources/steam-engineering-tutorials/the-boiler-house/pressurised-deaerators.asp>

9. Seznam příloh

Příloha A - Dispoziční řešení - výkres

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Zdeňku Kadlecovi, Ph.D. za cenné rady,
připomínky a metodické vedení práce.